

נוסחאון במקצוע

חלקי מכונות ועיבוד שבבי

הנדסאים – הנדסת מכונות – תיב"מ

סמל בחינה 97002

תשפ"ד – 2024

30 נובמבר 2023

תוכן עניינים

6.....	מבוא
6	1. סמלים ויחידות
8	2. טריגונומטריה
9.....	חלקי מכונות
9	3. מחברי ריתוך
10	נתוני תפרי ריתוך (מאמץ קווי).....
12	מאמץ קווי המתפתח בתפר הריתוך.....
28	מאמץ מותר לתפר הריתוך.....
28	תנאי חוזק תפר ריתוך.....
34	4. מחברי סמור
35	קוטר מסמרה נדרש.....
39	כוח מרבי שמסמרה יכולה לשאת.....
44	תכן לוחות המחבר.....
50	טבלה 1 – נתוני פלדה ואלומיניום.....
51	5. ברגי הידוק
51	טבלה 2 – תברגי הידוק מטריים (ת"י 13,665 Din).....
52	טבלה 3 – תקן 898 Din.....
53	כוח צירי Q נדרש בקנה הבורג.....
67	בחירת בורג הידוק.....
68	עמידת קנה הבורג בתנאי החוזק למאמץ משולב.....
71	דרגת חוזק דרושה לחומר הבורג.....
71	כוח צירי מרבי מותר לבורג.....
72	מומנט הידוק נדרש.....
87	עמידת שיני האום בתנאי החוזק.....
88	גובה אום מזערי.....
89	6. ברגי הנעה (ברגי כוח)
90	טבלה 4 – תברגי ריבועי.....
91	טבלה 5 – תברגי טרפזי סימטרי (Din 103).....
93	התאמת הבורג לתנאי העבודה.....
99	בחירת בורג הנעה / הרמה.....
107	כוח מרבי שקנה הבורג יכול לשאת.....
113	מומנט והספק.....
127	7. מבוא למסורות

132	חשובי גדלים בממסרת.
136	8. מקסרת רצועה
136	מבוא.
141	עמידת חומר הרצועה בתנאי החוזק.
145	הספק מרבי שהרצועה יכולה להעביר.
148	רוחב רצועה שטוחה – b.
151	מספר רצועות טריזיות – N.
154	חשב לפי דרישה.
168	9. ממסרת גלגלי שיניים ישרות
168	מבוא.
171	כוחות שילוב בשן בודדת.
172	תכן גלגלי שיניים לפי תנאי החוזק לכפיפה.
177	תכן גלגלי שיניים לפי תנאי החוזק להתעייפות.
186	10. ממסרת גלגלי שיניים משופעות
190	כוחות שילוב בשן בודדת.
192	תכן גלגלי שיניים לפי תנאי החוזק לכפיפה.
198	תכן גלגלי שיניים לפי תנאי החוזק להתעייפות.
207	11. תכנון גלים
207	פיתול.
209	כפיפה.
211	כפיפה ופיתול.
219	12. מסבים
220	בחירת מסב נייח.
222	בחירת מסב דינמי.
225	אורך ח"י מסב.
227	טבלה 6 – נתוני מסבי גלילה.
235	13. חיבור באמצעות שגם
236	קביעת אורך שגם.
238	הספק מרבי שניתן להעביר באמצעות השגם.
240	טבלה 7 – תקן שגמים (Din 6885).
244	14. מצמדים
245	מצמד נייח (קבוע).
250	מצמד שטוח.
257	מצמד קוני.
268	בדיקת התחממות.
269	15. קפיצים

269	נתון אינדקס קפיץ – e, דרוש קטרי הקפיץ
272	נתון קוטר ממוצע – D, לא נתון אינדקס קפיץ – e, דרוש קוטר תיל
274	בדיקת עמידת חומר הקפיץ בתנאי החוזק
275	נתונים ממדי הקפיץ, דרוש מקדם בטחון בו תוכנן הקפיץ
277	קבוע הקפיץ
278	מספר כריכות הקפיץ
279	מצבי עבודת הקפיץ
282	חיבור קפיצים
285	יציבות קפיץ בקריסה
289	מקדם תיקון מאמץ – k
290	חיבור קפיצים
294	עיבוד שבבי

294 16. מידות בייצור

295	טיב פני השטח (מרקם השטח)
300	דיוק עיבוד – סבולת מידה (טולרנס)
306	אפיציות (Rated Tolerance)
311	חישובי מידות
321	סבולות צורה (Geometric Tolerance) – ת"י 1010
327	סבולות תנוחה (צורה ומצב הדדי) – ת"י 1010
335	דרישות מיוחדות

338 17. כלכלת הייצור

338	עלות טכנולוגית ונקודת איזון
340	חישובי זמן

348 18. מבוא לעיבוד שבבי

351	נתוני שיבוב
-----	-------------

356 19. כלי חיתוך

356	תכונות נדרשות מחומרי כלי חיתוך
361	זוויות היסוד בכלי חיתוך

364 20. נוזלי חיתוך

365 21. קידוח, שיקוע, קידוד הברזה

365	קידוח
382	שיקוע
383	קידוד
384	הברזה

386 22. חריטה (Turning)

408	חישובים בחריטה.....
424	23. כרסום (Milling)
430	חישובים בכרסום.....
444	24. השחזה (Grinding)
455	חישובים בהשחזה.....
469	25. תהליך טכנולוגי
474	מסת חומר גלם.....
483	26. עיבודי גמר
483	מירוק חיצוני (Super Finish).....
485	מירוק פנימי (Honing).....
487	ליטוש (Lapping).....
488	בירוק (Polishing).....
489	27. שיטות עיבוד חדישות
489	עיבוד גיצי (EDM).....
493	עיבוד כימי-חשמלי (ECM).....
495	עיבוד בקרני לייזר (LBM).....
497	עיבוד בפלזמה (PAM).....
499	חיתוך במים (WJC).....
501	עיבוד על קולי / אולטרסוני (U.S.M.).....
503	עיבוד בקרן אלקטרונים (E.B.M.).....

מבוא

1. סמלים ויחידות

יחידות בסיסיות (Din 1301-1)

גודל נמדד	אורך	מסה	זמן	זרם חשמלי	טמפרטורה	כמות חומר	עוצמת הארה
שם היחידה	meter	kilogram	second	Ampere	Kelvin	mole	Candela
סמל יחידה	m	kg	s	A	K	mol	cd

קידומות הכפלה וחילוק

קידומת	tera	giga	mega	kilo	hecto	deca	deci	centi	milli	micro	nano	pico
סמל	T	G	M	k	h	da	d	c	m	μ	n	p
חזקה	10^{12}	10^9	10^6	10^3	10^2	10^1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}

יחידות בסיס ונגזרותיהן

גודל	סמל	יחידה	מערכת יחסים
אורך	l	m	$1 \text{ m} = 10 \text{ dm} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$ $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$
שטח	A	m^2	$1 \text{ m}^2 = 10000 \text{ cm}^2 = 1000000 \text{ mm}^2$
נפח	V	m^3 l, L	$1 \text{ m}^3 = 1000000 \text{ cm}^3 = 1000000000 \text{ mm}^3$ $1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 0.001 \text{ m}^3$
זווית	$\alpha, \beta, \gamma \dots$	rad $^\circ$	$1 \text{ rad} = 57.3^\circ = \frac{180^\circ}{\pi}$ $1 \text{ deg} = \frac{\pi}{180^\circ} \text{ rad}$
מסה	m	kg	$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$
כוח	F	N	$1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 1 \frac{\text{J}}{\text{m}}$ $1 \text{ kN} = 1000 \text{ N}$ $1 \text{ MN} = 1000 \text{ kN} = 1000000 \text{ N}$

גודל	סמל	יחידה	מערכת יחסים
צפיפות	ρ	kg/m^3	$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
מומנט	M, T	Nm	$1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1000 \text{ N} \cdot \text{mm}$
לחץ	P	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$ $1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa} = 10^5 \text{ Pa}$ $1 \text{ MPa} = 1000 \text{ kPa} = 10^6 \text{ Pa}$
מאמץ מכני	σ, τ	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	$1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 1 \text{ MPa}$
אנרגיה	E	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$
הספק	H, P	W	$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}}$
עבודה	W	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$
מומנט התנגדות	Z_b, Z_o	mm^3	$1 \text{ mm}^3 = 10^{-3} \text{ cm}^3$
זמן	t	s min h d y	$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$ $1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$ $1 \text{ d} = 24 \text{ h} = 1440 \text{ min} = 86400 \text{ s}$ $1 \text{ y} = 365 \text{ d}$
מהירות סיבובית	n	r.p.s r.p.m	$\text{r.p.s} = \frac{\text{r.p.m}}{60}$ r.p.m
מהירות	v	m/s m/min km/h	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$ $\frac{\text{m}}{\text{min}} = \frac{1}{60} \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $\frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1}{3.6} \frac{\text{m}}{\text{s}}$
מהירות זוויתית	ω	rad/s	$\omega = 2\pi \cdot n$
תאוצה	a	m/s^2	$1 \text{ m/s}^2 = \frac{1 \text{ m/s}}{1 \text{ s}}$
טמפרטורה	T	K	$1 \text{ K} = 273 + ^\circ\text{C}$

2. טריגונומטריה

$$\sin \alpha = \frac{a}{c}$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{c}$$

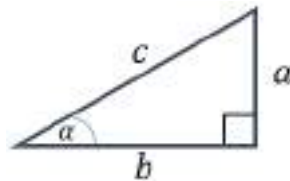
$$\tan \alpha = \frac{a}{b}$$

$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \gamma}$$

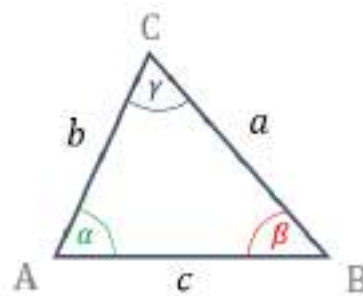


פונקציות טריגונומטריות

משפט פיתגורס

משפט הסינוסים

משפט קוסינוסים



חלקי מכונות

3. מחברי ריתוך

חיבורי ריתוך הם חיבורי מגע חומריים בין חומרים מאותו סוג (פלדה, אלומיניום, פלסטיק וכדומה). בהתאם למטרה המיועדת וסוג ההעמסה נעשה שימוש בסוגי מחברים שונים, סוגי תפרי ריתוך ותצורות תפר. בתהליך הריתוך מחומם החומר לטמפרטורה מתאימה ומתרחשת בנייה מחדש של המבנה הגבישי, המבוססת הפעם על שני הרכיבים המשתתפים בתהליך. אזור החיבור בין החלקים הוא לאורך קו המכונה **תפר הריתוך**.

סוגי מחברים

מחבר מילאת (פינתי)



מחבר השקה



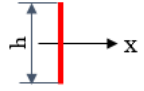
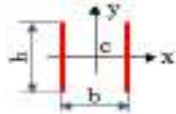
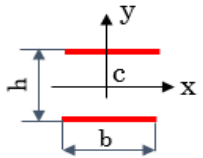
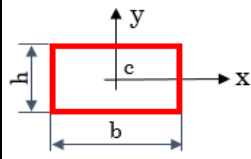
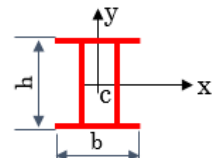
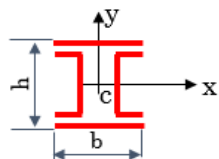
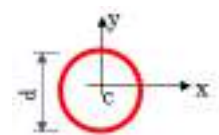
מחבר חפייה



נתוני תפרי ריתוך (מאמץ קווי)

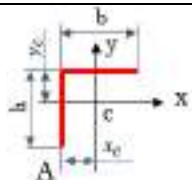
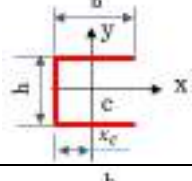
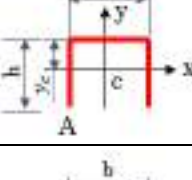
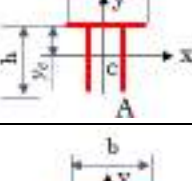
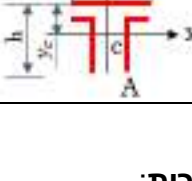
כיוון פעולת הכוח



צורת ריתוך	מרכז כובד	היקף $\Sigma L [mm]$	מומנט התנגדות קווי $Z_b [mm^2]$	מומנט התמד קוטבי $I_o [mm^3]$
1 	$x_c = 0$ $y_c = 0$	h	$\frac{h^2}{6}$	$\frac{h^3}{12}$
2 	$x_c = 0$ $y_c = 0$	$2h$	$\frac{h^2}{3}$	$\frac{h \cdot (3b^2 + h^2)}{6}$
3 	$x_c = 0$ $y_c = 0$	$2b$	$b \cdot h$	$\frac{b^3 + 3hb^2}{6}$
4 	$x_c = 0$ $y_c = 0$	$2 \cdot (b + h)$	$bh + \frac{h^2}{3}$	$\frac{(b + h)^3}{6}$
5 	$x_c = 0$ $y_c = 0$	$2 \cdot (b + h)$ הורד עובי פרופיל	$bh + \frac{h^2}{3}$	$\frac{b^3 + 3bh^2 + h^3}{6}$
6 	$x_c = 0$ $y_c = 0$	$4b + 2h$ הורד עובי פרופיל	$2bh + \frac{h^2}{3}$	$\frac{2b^3 + 6bh^2 + h^3}{6}$
7 	$x_c = 0$ $y_c = 0$	πd	$\frac{\pi}{4} \cdot d^2$	$\frac{\pi}{4} \cdot d^3$

כיוון פעולת הכוח



צורת ריתוך	מרכז כובד	היקף $\Sigma L [mm]$	מומנט $Z_b [mm^2]$	מומנט התמד קוטבי $I_o [mm^3]$
	$x_c = \frac{b^2}{2 \cdot (b + h)}$ $y_c = \frac{h^2}{2 \cdot (b + h)}$	$b + h$	$\frac{h^2(4b + h)}{6 \cdot (2b + h)}$ ביחס לנקודה A	$\frac{(b + h)^4 - 6b^2h^2}{12 \cdot (b + h)}$
	$x_c = \frac{b^2}{2b + h}$ $y_c = 0$	$2b + h$	$bh + \frac{h^2}{6}$	$\frac{(2b + h)^3}{12} - \frac{b^2 \cdot (b + h)^2}{2b + h}$
	$x_c = 0$ $y_c = \frac{h^2}{b + 2h}$	$b + 2h$	$\frac{h^2(2b + h)}{3 \cdot (b + h)}$ ביחס לנקודה A	$\frac{(b + 2h)^3}{12} - \frac{h^2 \cdot (b + h)^2}{b + 2h}$
	$x_c = 0$ $y_c = \frac{h^2}{b + 2h}$	$b + 2h$	$\frac{h^2(2b + h)}{3 \cdot (b + h)}$ ביחס לנקודה A	$\frac{(b + 2h)^3}{12} - \frac{h^2 \cdot (b + h)^2}{b + 2h}$
	$x_c = 0$ $y_c = \frac{h^2}{2 \cdot (b + h)}$	$2(b + h)$	$\frac{4bh^2 + h^3}{6b + 3h}$ ביחס לנקודה A	$\frac{h^3 \cdot (4b + h)}{6 \cdot (b + h)} + \frac{b^3}{6}$

הגדרות:

רוחב התפר b – קו ריתוך ה**ניצב** לקו פעולת הכוח.
 גובה תפר הריתוך h – קו ריתוך ה**מקביל** לקו פעולת הכוח.

הערות:

- * c – מרכז הכובד של תפר הריתוך.
- * כיוון פעולת הכוח בציר y , **מקביל** לתפר הריתוך
- * במידה ותפר הריתוך אינו מתאים לאף צורה יש לבחור בצורה הקרובה ביותר

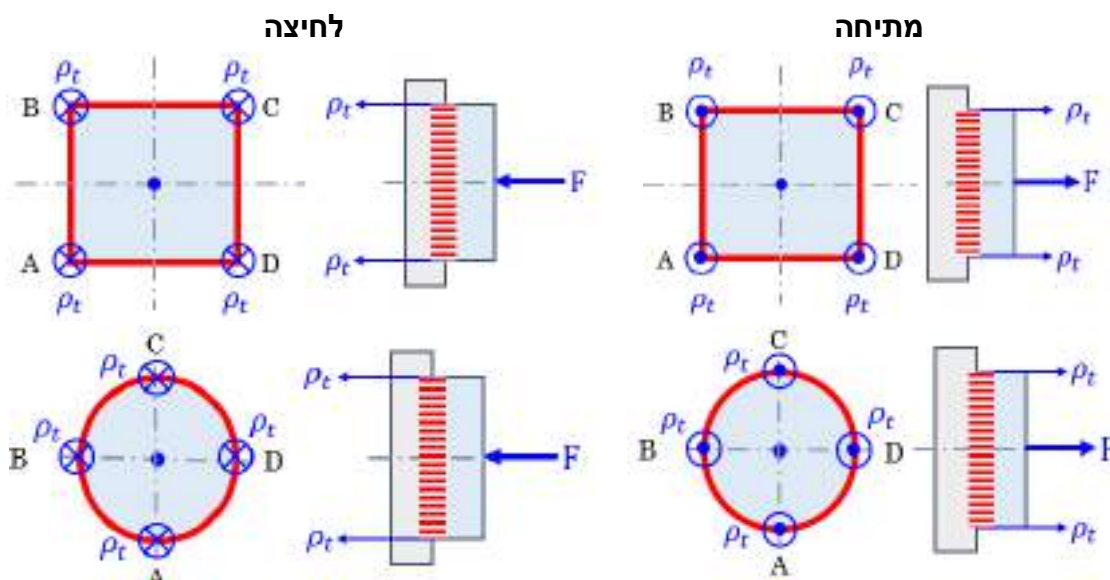
מאמץ קווי המתפתח בתפר הריתוך

הערות:

- 1) הנוסחאות מטה לחישוב מאמץ קווי מתאימות למצב בו פועל **כוח צירי אחד בלבד**.
- 2) המאמצים הקווים בתפר מחושבים בהנחה שעובי התפר הוא **יחידה אחת**.

מאמץ קווי בודד המתפתח בתפר הריתוך

- 1) קו פעולת הכוח החיצוני F , עובר דרך מרכז הכובד של תפר הריתוך **בניצב** למישור תפר הריתוך.



בכל נקודה בתפר הריתוך מתפתח מאמץ **שווה**, שכיוונו **מקביל** לקו פעולת הכוח.

$$\rho_t = \frac{F}{\Sigma L_t}$$

$$\frac{N}{mm}$$

$$N$$

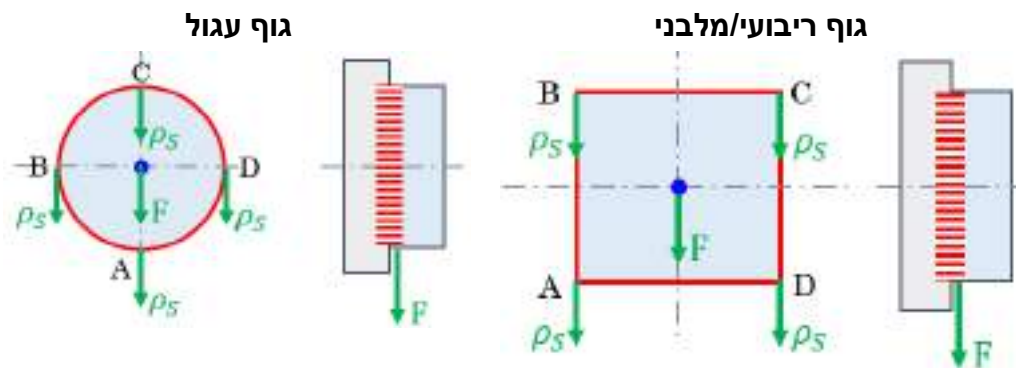
$$mm$$

ρ_t מאמץ מתיחה/לחיצה קווי המתפתח בתפר הריתוך

F כוח הפועל על תפר הריתוך

ΣL_t אורך **כולל** של תפר הריתוך (נקבע לפי צורת התפר, ראה **טבלת נתוני תפרי ריתוך**)

(2) קו פעולת הכוח החיצוני F , עובר דרך מרכז הכובד של תפר הריתוך ב**מקביל** למישור תפר הריתוך.



בכל נקודה בתפר הריתוך מתפתח מאמץ **שווה**, שכיוונו **מקביל** לקו פעולת הכוח.

$$\rho_s = \frac{F}{\Sigma L_s}$$

$$\frac{N}{mm}$$

$$N$$

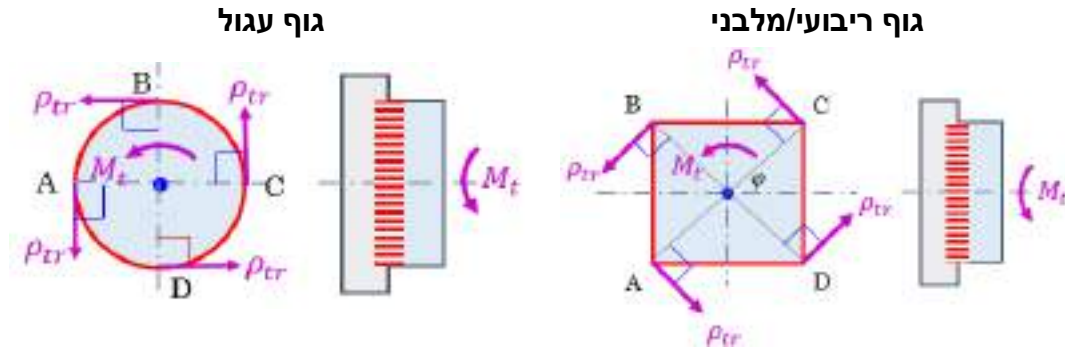
$$mm$$

ρ_s מאמץ גזירה קווי ה**מתפתח** בתפר הריתוך

F כוח הפועל על תפר הריתוך

ΣL_s אורך **כולל** של תפר הריתוך (נקבע לפי צורת התפר, ראה [טבלת נתוני תפרי ריתוך](#))

(3) מומנט סיבוב M_t , פועל מקביל למישור תפר הריתוך, מסובב את הגוף סביב מרכז הכובד C. המאמץ המתפתח בתפר הריתוך, פועל בניצב למרחק r (אורך ישר המחבר בין ציר הסיבוב לקצה התפר), בכיוון סיבוב הגוף.



$$\rho_{tr} = \frac{M_t \cdot r_{max}}{I_0}$$

$$\frac{N}{mm}$$

$$Nmm$$

$$mm$$

$$mm$$

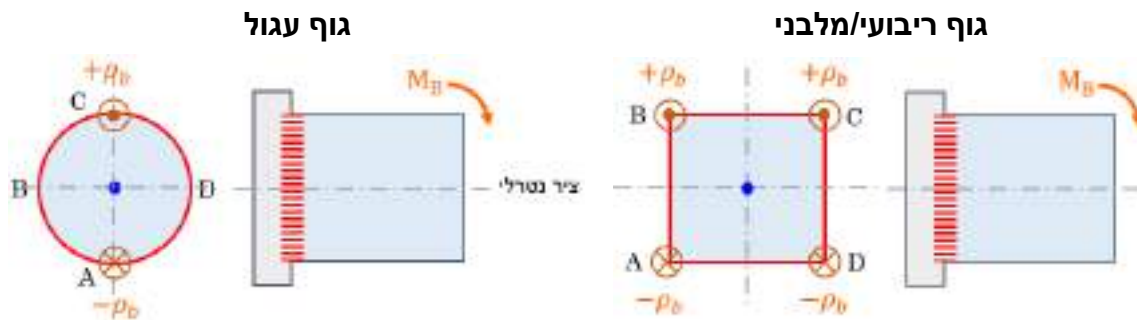
ρ_{tr} מאמץ פיתול קווי המתפתח בתפר הריתוך

M_t מומנט סיבוב הפועל על תפר הריתוך

r_{max} מרחק **מרכז** בין מרכז הסיבוב לקצה תפר הריתוך

I_0 מומנט התמד קוטבי קווי (נקבע לפי צורת התפר, ראה טבלת נתוני תפרי ריתוך)

4) מומנט כפיפה M_b , פועל במישור מרכז הכובד של הריתוך (במקרה המתואר פעולת המומנט נגד כיוון השעון והוא גורם לחלק התחתון של תפר הריתוך להימתח ולחלק העליון להילחץ). בנקודת מרכז הכובד עובר הציר הניטרלי ולכן ערך מאמץ הכפיפה בו 0.



$$\rho_b = \frac{M_b}{Z_b}$$

$$\frac{N}{mm}$$

$$mm$$

$$mm$$

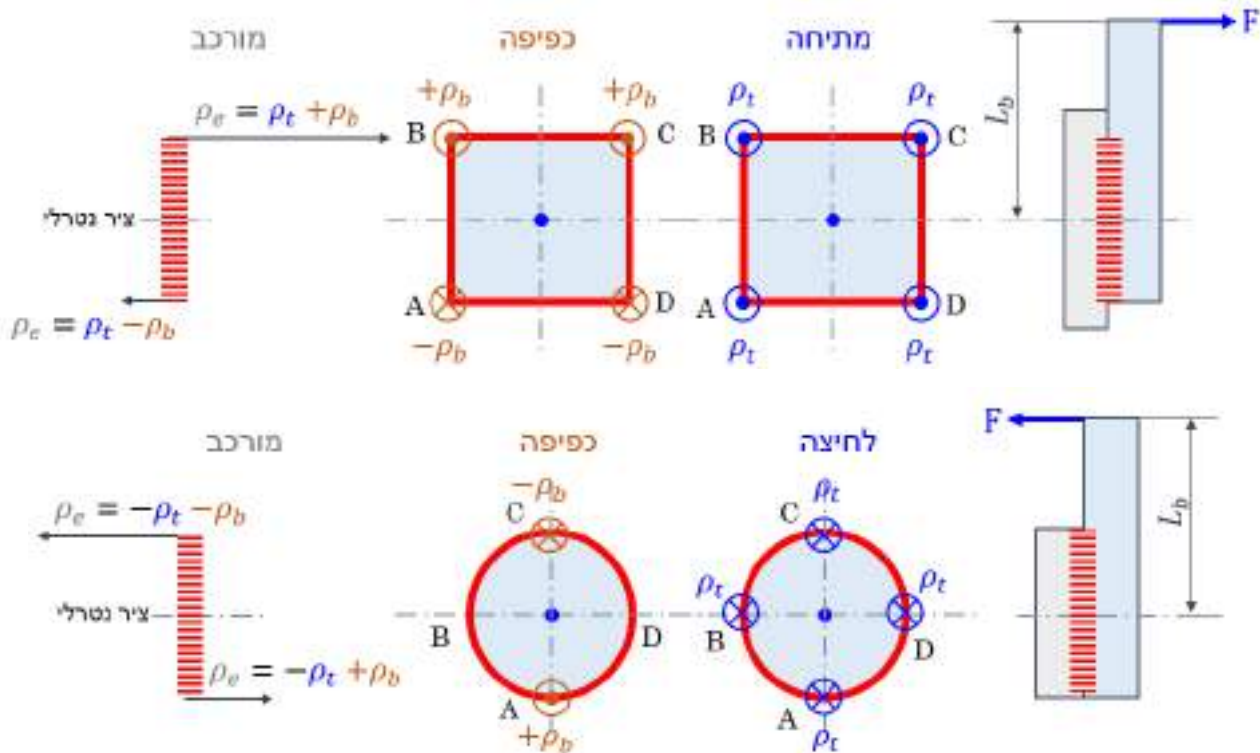
ρ_b מאמץ כפיפה קווי המתפתח בתפר הריתוך

M_b מומנט כפיפה הפועל על תפר הריתוך

Z_b מומנט התנגדות קווי (מקבע לפי צורת התפר, ראה [טבלת נתוני תפרי ריתוך](#))

מאמץ קווי מורכב המתפתח בתפר הריתוך

(5) קו פעולת הכוח החיצוני F , עובר במרחק L_b מקו מרכז הכובד של תפר הריתוך בניצב למישור תפר הריתוך. בכל נקודה בתפר הריתוך מתפתח מאמץ מורכב.



מאמץ מתיחה/לחיצה (מתפתח מאמץ שונה בכל נקודה בתפר הריתוך)

$$\rho_t = \frac{F}{\Sigma L_t}$$

$$\frac{N}{mm}$$

ρ_t מאמץ מתיחה/לחיצה קווי המתפתח בתפר

F כוח הפועל על התפר
 ΣL_t אורך כולל של תפר הריתוך (נקבע לפי צורת התפר, ראה טבלת נתוני תפרי ריתוך)

המשך בעמוד הבא

מקרה 5 – המשך מעמוד קודם

מאמץ כפיפה (קצה אחד של תפר הריתוך נמתח והקצה הנגדי נלחץ)

$$\rho_b = \frac{M_b}{Z_b}$$

$$M_b = F \cdot L_b$$

$$\frac{N}{mm}$$

$$Nmm$$

$$N$$

$$mm$$

$$mm$$

ρ_b מאמץ כפיפה קווי המתפתח בתפר הריתוך

M_b מומנט כפיפה הפועל על תפר הריתוך

F כוח הפועל על תפר הריתוך

L_b מרחק קו פעולת הכוח מקו מרכז הכובד של תפר הריתוך.

Z_b מומנט התנגדות קווי (נקבע לפי צורת התפר, ראה [טבלת נתוני תפרי ריתוך](#))

מאמץ **מורכב** (המאמצים פועלים לאורך אותו קו פעולה)

$$\rho_e = \pm \rho_t \pm \rho_b$$

$$\frac{N}{mm}$$

ρ_e מאמץ **מורכב** קווי המתפתח בתפר

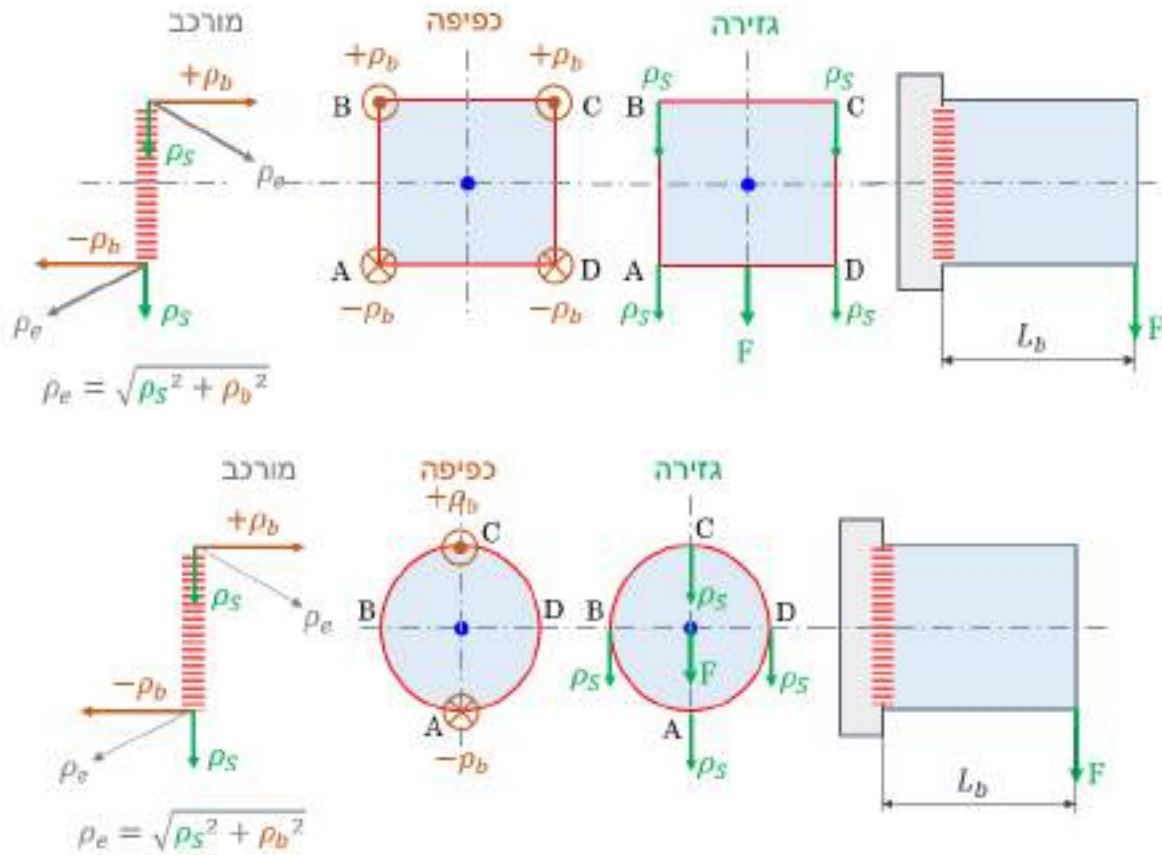
$$\frac{N}{mm}$$

ρ_t מאמץ מתיחה/לחיצה קווי המתפתח בתפר

$$\frac{N}{mm}$$

ρ_b מאמץ כפיפה קווי המתפתח בתפר

6) קו פעולת הכוח החיצוני F , עובר במרחק L_b מקו מרכז הכובד של תפר הריתוך במקביל למישור תפר הריתוך. בכל נקודה בתפר הריתוך מתפתח מאמץ מורכב.



מאמץ גזירה (מתפתח מאמץ שונה בכל נקודה בתפר הריתוך)

$$\rho_s = \frac{F}{\Sigma L_s}$$

$$\frac{N}{mm}$$

$$N$$

$$mm \quad \Sigma L_s \quad \text{אורך כולל של תפר הריתוך (נקבע לפי צורת התפר, ראה [טבלת נתוני תפרי ריתוך](#))}$$

ρ_s מאמץ גזירה קווי המתפתח בתפר הריתוך

F כוח הפועל על תפר הריתוך

המשך בעמוד הבא

מקרה 6 – המשך מעמוד קודם

מאמץ כפיפה (קצה אחד של תפר הריתוך ימתח והקצה הנגדי ילחץ)

$$\rho_b = \frac{M_b}{Z_b}$$

$$M_b = F \cdot L_b$$

$$\frac{N}{mm}$$

$$mm$$

$$N$$

$$mm$$

$$mm$$

ρ_b מאמץ כפיפה קווי המתפתח בתפר הריתוך

M_b מומנט הפועל על תפר הריתוך

F כוח הפועל על תפר הריתוך

L_b מרחק קו פעולת הכוח מקו מרכז הכובד של תפר הריתוך.

Z_b מומנט התנגדות קווי (נקבע לפי צורת התפר, ראה [טבלת נתוני תפרי ריתוך](#))

מאמץ **מורכב** (המאמצים **ניצבים** זה לזה)

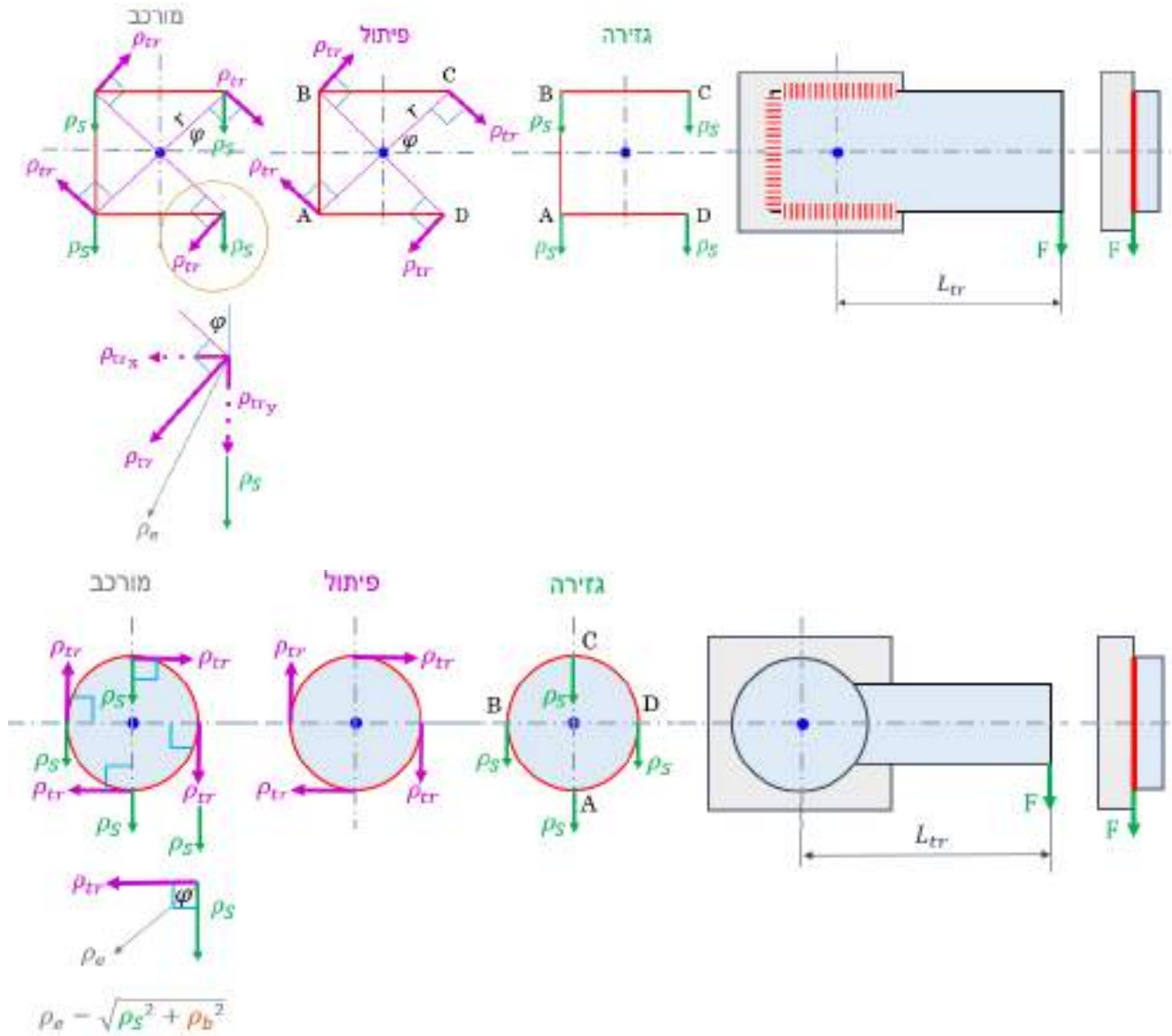
$$\rho_e = \sqrt{\rho_s^2 + \rho_b^2}$$

ρ_e מאמץ **מורכב** קווי המתפתח בתפר

ρ_s מאמץ גזירה קווי המתפתח בתפר

ρ_b מאמץ כפיפה קווי המתפתח בתפר

(7) קו פעולת הכוח החיצוני F , עובר במרחק L_{tr} מקו מרכז הכובד של תפר הריתוך. מקביל למישור תפר הריתוך. בכל נקודה בתפר הריתוך מתפתח מאמץ מורכב.



המשך בעמוד הבא

מקרה 7 – המשך מעמוד קודם

מאמץ גזירה (בכל תפר הריתוך מתפתח מאמץ שווה)

$$\rho_s = \frac{F}{\Sigma L_s}$$

$$\frac{N}{mm}$$

ρ_s מאמץ גזירה קווי המתפתח בתפר הריתוך

$$N$$

F כוח הפועל על תפר הריתוך

$$\Sigma L_s \text{ אורך כולל של תפר הריתוך (נקבע לפי צורת התפר, ראה טבלת נתוני תפרי ריתוך)}$$

מאמץ פיתול (נוצר מאמץ בקצוות תפר הריתוך, התלוי במרחק קצה התפר ממרכז הסיבוב)

$$\rho_{tr} = \frac{M_t \cdot r_{max}}{I_o}$$

$$M_t = F \cdot L_{tr}$$

$$\frac{N}{mm}$$

ρ_{tr} מאמץ פיתול קווי המתפתח בתפר הריתוך

$$Nmm$$

M_t מומנט סיבוב הפועל על תפר הריתוך

$$N$$

F כוח הפועל על תפר הריתוך

$$mm$$

L_{th} מרחק קו פעולת הכוח מקו מרכז הכובד של תפר הריתוך.

$$mm$$

r_{max} מרחק מרבי בין מרכז הסיבוב לקצה תפר הריתוך

$$mm$$

I_o מומנט התמד קוטבי קווי (נקבע לפי צורת התפר, ראה טבלת נתוני תפרי ריתוך)

זווית φ , (הזווית הכלואה בין הרדיוס r והקו האופקי)¹

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{h/2}{b/2} \right)$$

המשך בעמוד הבא

¹ בגוף עגול הזווית $\varphi = 90^\circ$

מקרה 7 – המשך מעמוד קודם

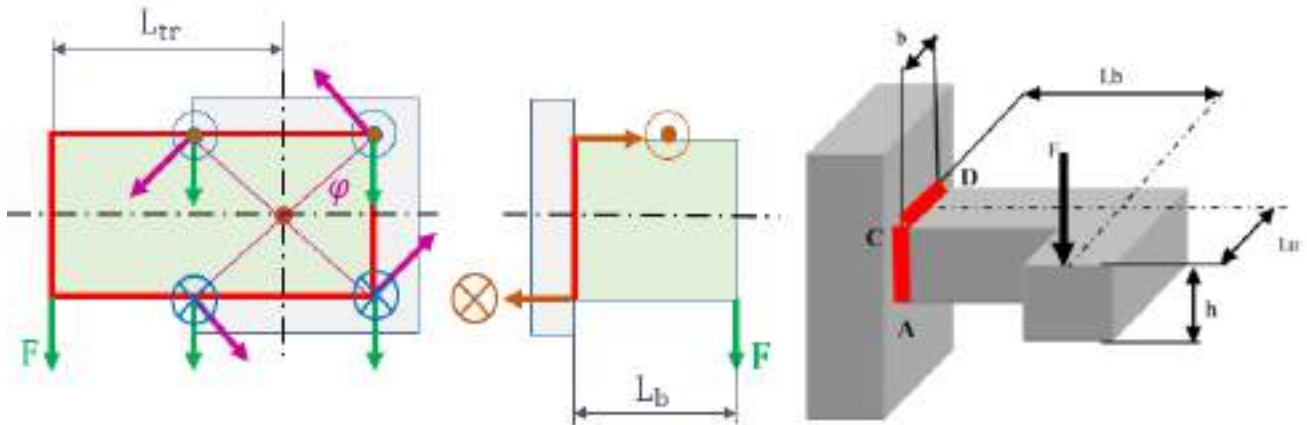
מאמץ מורכב (מאמצי הגזירה ומאמצי הפיתול נטויים זה לזה בזווית φ)

$$\rho_e = \sqrt{\rho_s^2 + \rho_{tr}^2 + 2 \cdot \rho_s \cdot \rho_{tr} \cdot \cos \varphi}$$

$$\rho_e = \sqrt{(\rho_{tr} \cdot \sin \varphi)^2 + (\rho_{tr} \cdot \cos \varphi + \rho_s)^2}$$

ρ_e	מאמץ פיתול קווי המתפתח בתפר	$\frac{N}{mm}$
ρ_s	מאמץ גזירה קווי המתפתח בתפר	$\frac{N}{mm}$
ρ_{tr}	מאמץ פיתול קווי המתפתח בתפר	$\frac{N}{mm}$

8) קו פעולת הכוח מרוחק L_b ממישור הריתוך ו- L_{tr} ממרכז הכובד של תפר הריתוך, בתפר הריתוך מתפתח מאמץ מורכב.



מאמץ גזירה (בכל תפר הריתוך מתפתח מאמץ שווה)

$$\rho_s = \frac{F}{\Sigma L_s}$$

$$\frac{N}{mm}$$

$$N$$

$$mm$$

ρ_s מאמץ גזירה קווי המתפתח בתפר הריתוך

F כוח הפועל על תפר הריתוך

ΣL_s אורך כולל של תפר הריתוך (נקבע לפי צורת התפר, ראה טבלת נתוני תפרי ריתוך)

מאמץ פיתול (נוצר מאמץ בקצוות תפר הריתוך, התלוי במרחק קצה התפר ממרכז הסיבוב)

$$\rho_{tr} = \frac{M_t \cdot r_{max}}{I_o}$$

$$M_t = F \cdot L_{tr}$$

$$\frac{N}{mm}$$

$$Nmm$$

$$N$$

$$mm$$

$$mm$$

$$mm$$

ρ_{tr} מאמץ פיתול קווי המתפתח בתפר הריתוך

M_t מומנט סיבוב הפועל על תפר הריתוך

F כוח הפועל על תפר הריתוך

L_{tr} מרחק קו פעולת הכוח מקו מרכז הכובד של תפר הריתוך.

r_{max} מרחק מרבי בין מרכז הסיבוב לקצה תפר הריתוך

I_o מומנט התמד קוטבי קווי (נקבע לפי צורת התפר, ראה טבלת נתוני תפרי ריתוך)

המשך בעמוד הבא

מקרה 8 – המשך מעמוד קודם

מאמץ כפיפה (קצה אחד של תפר הריתוך ימתח והקצה הנגדי ילחץ)

$$\rho_b = \frac{M_b}{Z_b}$$

$$M_b = F \cdot L_b$$

$$\frac{N}{mm}$$

$$mm$$

$$N$$

$$mm$$

$$mm$$

ρ_b מאמץ כפיפה קווי המתפתח בתפר הריתוך

M_b מומנט הפועל על תפר הריתוך

F כוח הפועל על תפר הריתוך

L_b מרחק קו פעולת הכוח מקו מרכז הכובד של תפר הריתוך.

Z_b מומנט התנגדות קווי (מקבע לפי צורת התפר, ראה [טבלת נתוני תפרי ריתוך](#))

זווית φ , (הזווית הכלואה בין הרדיוס r והקו האופקי)²

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{h/2}{b/2} \right)$$

מאמץ **מורכב** (מאמץ הכפיפה ומאמצי הגזירה ניצבים זה לזה, מאמצי הפיתול נטויים בזווית φ)

$$\rho_e = \sqrt{\rho_b^2 + \rho_s^2 + \rho_{tr}^2 + 2 \cdot \rho_s \cdot \rho_{tr} \cdot \cos \varphi}$$

$$\rho_e = \sqrt{\rho_b^2 + (\rho_{tr} \cdot \sin \varphi)^2 + (\rho_{tr} \cdot \cos \varphi + \rho_s)^2}$$

ρ_e מאמץ **מורכב** קווי המתפתח בתפר

ρ_b מאמץ כפיפה קווי המתפתח בתפר

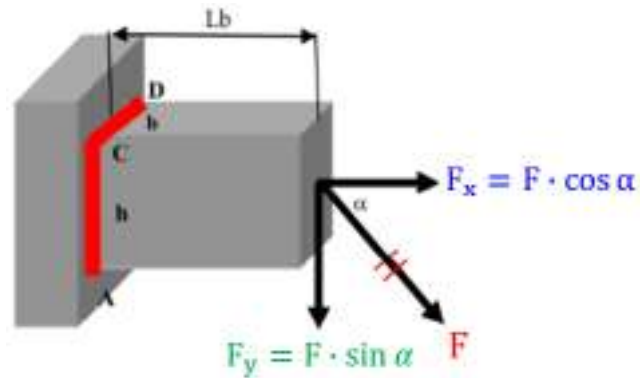
ρ_s מאמץ גזירה קווי המתפתח בתפר

ρ_{tr} מאמץ פיתול קווי המתפתח בתפר

² בגוף עגול הזווית $\varphi = 90^\circ$

זוג כוחות הניצבים זה לזה

על המחבר פועל כוח F שקו פעולתו נטוי בזווית α ביחס למרכז הכובד של תפר הריתוך ומצוי במרחק L_b ממישור תפר הריתוך.



(1) פרקו את הכוח F לשני רכיבים ישרי זווית.

$$F_x = F \cdot \cos \alpha^\circ$$

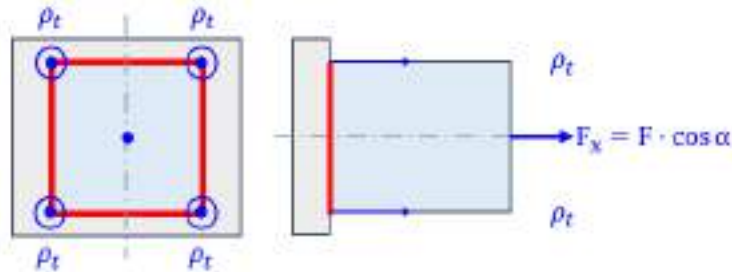
$$F_y = F \cdot \sin \alpha^\circ$$

F_x	רכיב כוח על ציר ה-x (רכיב אופקי)	N
F_y	רכיב כוח על ציר ה-y (רכיב אנכי)	N
α	זווית בין הכוח לציר האופקי x	°

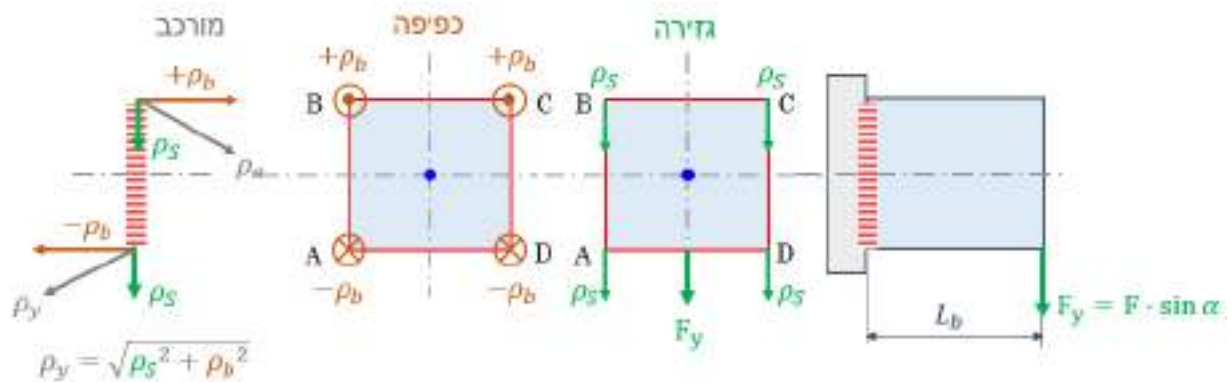
המשך בעמוד הבא

זוג כוחות ניצבים זה לזה – המשך מעמוד קודם

(2) חשבו מאמץ / צים הנוצרים מפעולת רכיב הכוח האופקי



(3) חשבו מאמץ / צים הנוצרים מפעולת רכיב הכוח האנכי



מאמץ גזירה (מתפתח מאמץ שווה בכל נקודה בתפר הריתוך)

$$\rho_s = \frac{F}{\Sigma L_s}$$

$$\frac{N}{mm}$$

$$N$$

$$mm \quad \Sigma L_s \quad \text{אורך כולל של תפר הריתוך (נקבע לפי צורת התפר, ראה טבלת נתוני תפרי ריתוך)}$$

ρ_s מאמץ גזירה קווי המתפתח בתפר הריתוך

F כוח הפועל על תפר הריתוך

המשך בעמוד הבא

זוג כוחות ניצבים זה לזה – המשך מעמוד קודם

מאמץ כפיפה (קצה אחד של תפר הריתוך נמתח והקצה הנגדי נלחץ)

$$\rho_b = \frac{M_b}{Z_b}$$

$$M_b = F \cdot L_b$$

$$\frac{N}{mm}$$

$$mm$$

$$N$$

$$mm$$

$$mm$$

ρ_b מאמץ כפיפה קווי המתפתח בתפר הריתוך

M_b מומנט הפועל על תפר הריתוך

F כוח הפועל על תפר הריתוך

L_b מרחק קו פעולת הכוח מקו מרכז הכובד של תפר הריתוך.

Z_b מומנט התנגדות קווי (נקבע לפי צורת התפר, ראה [טבלת נתוני תפרי ריתוך](#))

מאמץ מורכב (המאמצים ניצבים זה לזה)

$$\rho_y = \sqrt{\rho_s^2 + \rho_b^2}$$

$$\frac{N}{mm}$$

ρ_y מאמץ מורכב קווי עקב פעולת רכיב הכוח האנכי

$$\frac{N}{mm}$$

ρ_s מאמץ גזירה קווי המתפתח בתפר

$$\frac{N}{mm}$$

ρ_b מאמץ כפיפה קווי המתפתח בתפר

(4) חשבו מאמץ מורכב כולל.

$$\rho_e = \sqrt{\rho_x^2 + \rho_y^2}$$

$$\frac{N}{mm}$$

ρ_e מאמץ מורכב קווי כולל המתפתח בתפר

$$\frac{N}{mm}$$

ρ_x מאמץ מורכב קווי עקב פעולת רכיב הכוח האופקי

$$\frac{N}{mm}$$

ρ_y מאמץ מורכב קווי עקב פעולת רכיב הכוח האנכי

מאמץ מותר לתפר הריתוך

לרוב נתון מאמץ מותר לחומר התפר. במידה **ולא נתון** (או נתון מאמץ כניעה ומקדם בטחון)

$$[\tau_w] = \alpha \cdot \frac{\sigma_y}{S}$$

MPa	מאמץ מותר לחומר תפר הריתוך	$[\tau_w]$
MPa	מאמץ כניעה במתיחה ³	σ_y
	מקדם בטחון (Safety factor) ⁴	S
	מקדם	α

לא נתון, הנח: $\alpha = 0.65$

תנאי חוזק תפר ריתוך

$$\tau_w = \frac{\rho_e}{a} \leq [\tau_w]$$

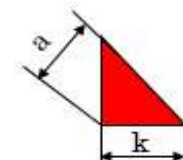
$$a = \frac{\rho_e}{[\tau_w]}$$

MPa	מאמץ המתפתח בתפר הריתוך	τ_w
MPa	מאמץ מותר לחומר תפר הריתוך (לרוב נתון)	$[\tau_w]$
$\frac{N}{mm}$	מאמץ קווי מורכב המתפתח בתפר הריתוך	ρ_e
mm	עובי תפר ריתוך	a

גובה רגל תפר ריתוך – k

$$k = 1.4 \cdot a$$

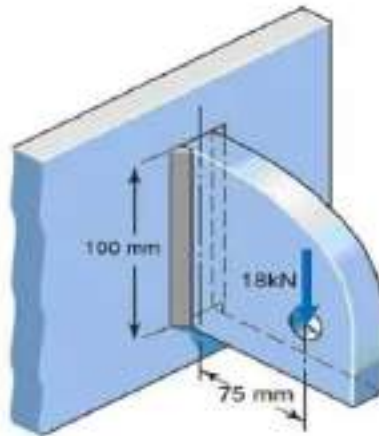
mm	עובי תפר הריתוך	a
mm	גובה רגל תפר הריתוך	k



³ נתון חומר, הוצא מאמץ כניעה מטבלת נתוני פלדה ואלומיניום
⁴ לא נתון, ראה מקדמי בטחון מומלצים

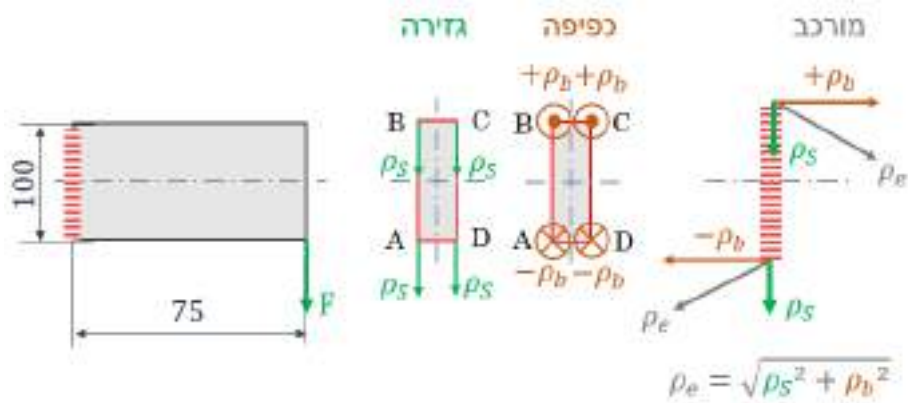
דוגמה 1

הקורה המרותכת המתוארת באיור לשאלה מועמסת בכוח שעוצמתו 18 kN. הקורה מרותכת בשני תפרי ריתוך, שאורך כל אחד מהם 100 mm. מאמץ כניעה של חומר הקורה $\sigma_y = 345 \text{ MPa}$. מקדם בטחון $S = 3$.
חשב את גובה הריתוך הדרוש – k .



פתרון דוגמה 1

מאמץ מתפתח בתפר הריתוך



המשך בעמוד הבא

דוגמה 1 – המשך מעמוד קודם

מאמץ גזירה

$$\rho_s = \frac{F}{\Sigma L_s}$$

$$\Sigma L_s = 2h = 2 \cdot 100 = 200 \text{ mm}$$

$$\rho_s = \frac{18000}{200} = 90 \frac{N}{mm}$$

מאמץ כפיפה

$$\rho_b = \frac{F \cdot L_b}{Z_b}$$

$$Z_b = \frac{h^2}{3} = \frac{100^2}{3} = 3333.34 \text{ mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{18000 \cdot 75}{3333.34} = 405 \frac{N}{mm}$$

מאמץ מורכב (המאמצים ניצבים זה לזה)

$$\rho_e = \sqrt{\rho_s^2 + \rho_b^2} = \sqrt{90^2 + 405^2} = 415 \frac{N}{mm}$$

מאמץ מותר לתפר הריתוך

$$[\tau_w] = 0.65 \cdot \frac{\sigma_y}{S} = 0.65 \cdot \frac{345}{3} = 75 \text{ MPa}$$

עובי תפר הריתוך

$$a = \frac{\rho_e}{[\tau_w]} = \frac{415}{75} = 5.54 \text{ mm}$$

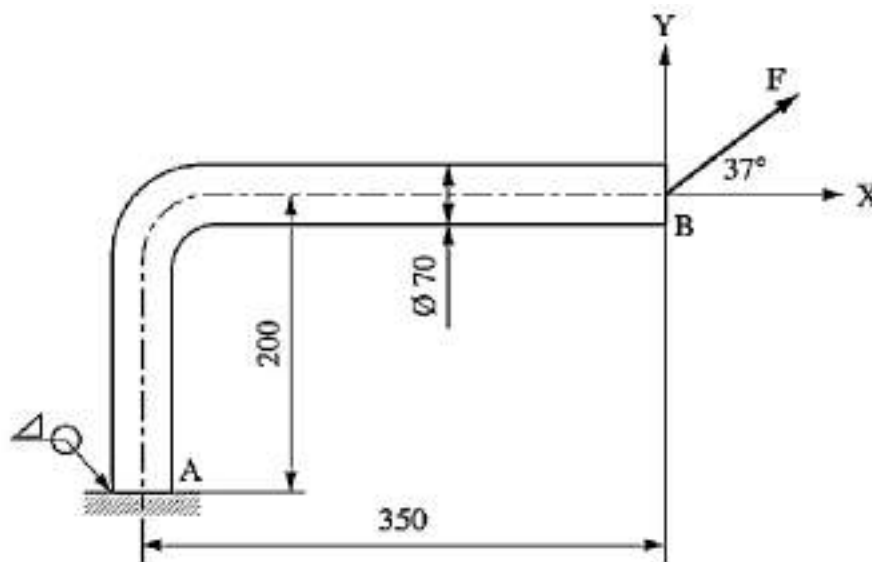
גובה תפר הריתוך

$$k = 1.4 \cdot a = 1.4 \cdot 5.54 \cong 8 \text{ mm}$$

דוגמה 2

מוט פלדה מכופף AB, שקוטרו 70 mm, מרותך לבסיס פלדה רתום בריתוך מילאת (פינתי) הקפי, בקצה המוט פועל כוח $F = 6 \text{ kN}$. הכוח פועל במישור XY בזווית 37° ביחס לציר X כמוצג באיור.

מאמץ מותר בתפר הריתוך 70 MPa.



דרוש: עובי תפרי הריתוך הנדרש.

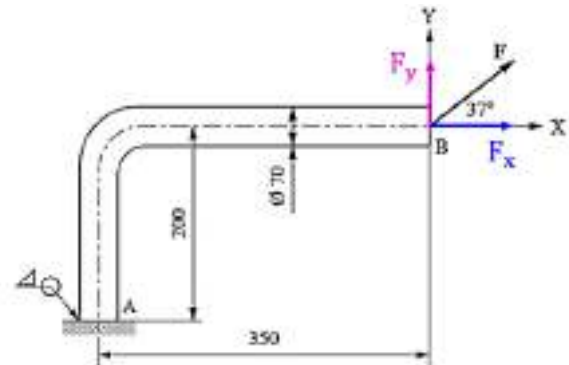
הערה: הזניחו את משקל המוט.

פתרון דוגמה 2

(1) פרקו את הכוח F לשני רכיבים ישרי זווית.

$$F_x = F \cdot \cos \alpha^\circ = 6000 \cdot \cos 37^\circ = 4792 \text{ N}$$

$$F_y = F \cdot \sin \alpha^\circ = 6000 \cdot \sin 37^\circ = 3611 \text{ N}$$



(2) חשבו מאמצים הנוצרים מפעולת רכיב הכוח האופקי

מאמץ גזירה (מתפתח מאמץ שווה בכל נקודה בתפר הריתוך)

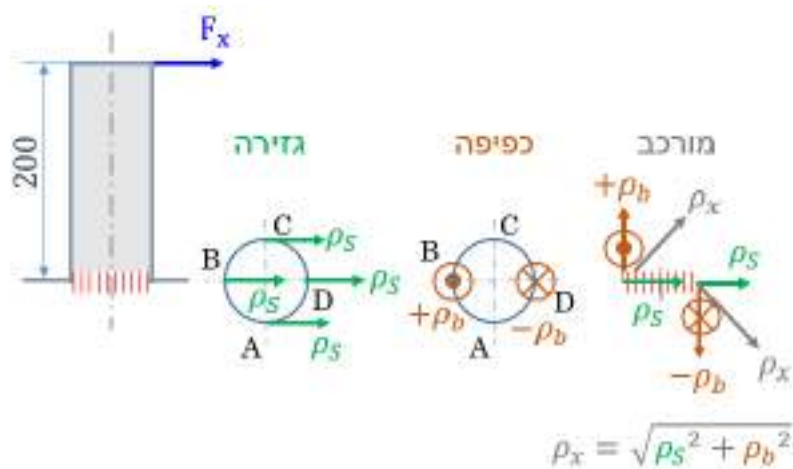
$$\rho_s = \frac{F_x}{\Sigma L_s} = \frac{4792}{70\pi} = 21.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

מאמץ כפיפה (קצה אחד של תפר הריתוך נמתח והקצה הנגדי נלחץ)

$$\rho_b = \frac{F_x \cdot L_b}{Z_b} = \frac{4792 \cdot 200}{\frac{\pi}{4} \cdot 70^2} \cong 250 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

מאמץ מורכב (המאמצים ניצבים זה לזה)

$$\rho_x = \sqrt{\rho_s^2 + \rho_b^2} = \sqrt{21.8^2 + 250^2} = 251 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$



המשך בעמוד הבא

דוגמה 2 – המשך מעמוד קודם

(3) מאמץ הנוצר מפעולת רכיב הכוח האנכי

מאמץ מתיחה/לחיצה (מתפתח מאמץ שווה בכל נקודה בתפר הריתוך)

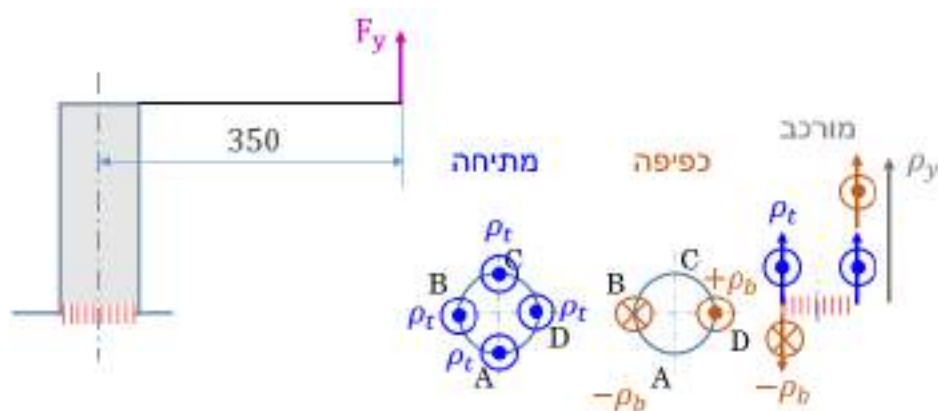
$$\rho_t = \frac{F_y}{\Sigma L_t} = \frac{3611}{70\pi} = 16.5 \frac{N}{mm}$$

מאמץ כפיפה (קצה אחד של תפר הריתוך נמתח והקצה הנגדי נלחץ)

$$\rho_b = \frac{F_y \cdot L_b}{Z_b} = \frac{3611 \cdot 350}{\frac{\pi}{4} \cdot 70^2} = 328.5 \frac{N}{mm}$$

מאמץ מורכב (המאמצים מקבילים זה לזה)

$$\rho_y = \rho_t + \rho_b = 16.5 + 328.5 = 345 \frac{N}{mm}$$



(4) חשבו מאמץ מורכב כולל.

$$\rho_e = \sqrt{\rho_x^2 + \rho_y^2} = \sqrt{251^2 + 345^2} = 427 \frac{N}{mm}$$

עובי תפר ריתוך

$$a = \frac{\rho_e}{[\rho]} = \frac{427}{70} = 6 \text{ mm}$$

גובה תפר ריתוך

$$k = 1.4 \cdot a = 1.4 \cdot 6 = 8.5 \text{ mm}$$

4. מחברי סמור

מסמרה – חלק מכונה תקני, בעל צורה גלילית שתפקידו **חיבור תמידי** בין חלקים שטוחים. תהליך הסמור ניתן לביצוע בתהליך עיצוב פלסטי קר או חם.

לאחר ביצוע החיבור ניתן לפרקו **רק** באמצעות **חיתוך** המסמרה.

המסמרות עשויות קנה גלילי מלא, בעל ראש תקני בצדו האחד, צידו השני בעל אורך מספיק כדי שהחומר הנוסף, הבולט מן החלקים המחוברים, יספיק ליצירת הראש הסוגר בתהליך עיצוב פלסטי.

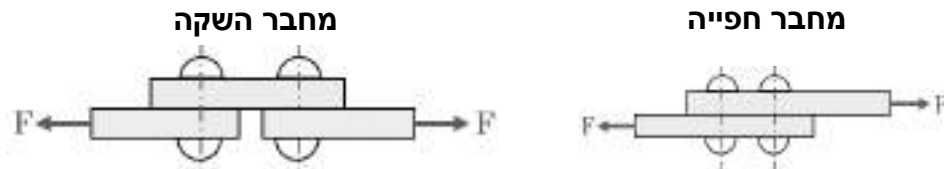


הנקב המיועד לחיבור נעשה בקידוח או בניקוב. חשובה מאוד התאמת הניקוב בין החלקים המיועדים לחיבור, לכן, **יש לנקב/לקדוח את שני החלקים כאשר הם מחוברים יחדיו !!!**

קוטר הנקב חייב להיות **גדול** מקוטר המסמרה בטווח 0.5 mm עד 1 mm

קוטר מסמרה נדרש

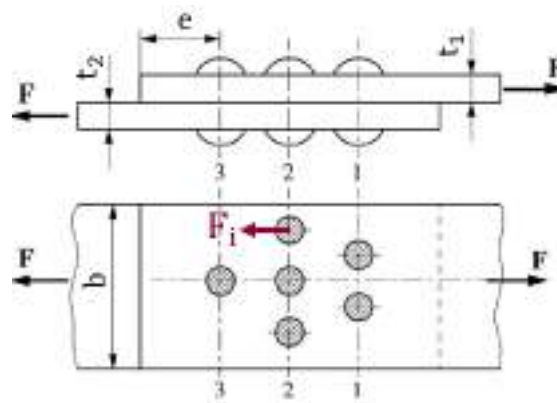
(1) לפי סוג המחבר, קבעו את אופן חלוקת הכוח



הכוח מתחלק בין כל מסמרות המחבר הכוח מתחלק בין מחצית מסמרות המחבר

(2) קבעו את עוצמת כוח הפועל על מסמרה בודדת

א. מחבר עמוס כוח סימטרי F

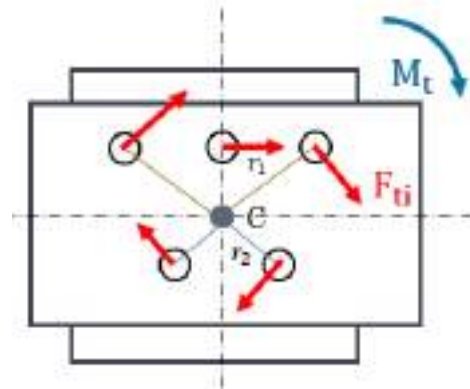


$$F_i = \frac{F}{i_{tot}}$$

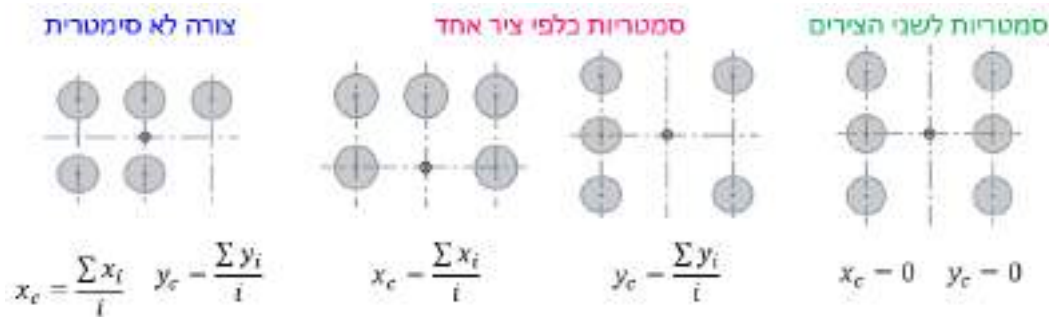
F כוח הפועל על המחבר
 F_i כוח הפועל על מסמרה בודדת
 i_{tot} מספר מסמרות המחבר

המשך בעמוד הבא

קוטר מסמרה נדרש – המשך מעמוד קודם
ב. מחבר עמוס מומנט סיבוב M_t



1. קבעו את מיקום מרכז הכובד O של המסמרות



2. מקפדו את מסמרות המחבר.

3. שרטטו קו בין כל מרכז מסמרה למרכז הכובד וחשבו את אורכו - r_i .

4. חשבו כוח משיקי F_{ti} הפועל על במסמרה בודדת (כיוונו ניצב לרדיוס עם כיוון הסיבוב).

$$F_{ti} = M_t \cdot \frac{r_i}{\sum r_i^2}$$

M_t מומנט סיבוב הפועל על המחבר Nmm

F_{ti} כוח משיקי הפועל על **מסמרה בודדת** N

r_i רדיוס מסמרה בודדת mm

המשך בעמוד הבא

קוטר מסמרה נדרש – המשך מעמוד קודם

(3) חשבו קוטר מסמרה נדרש לפי תנאי החוזק לגזירה

$$d_s = \sqrt{\frac{F_i}{\frac{\pi}{4} \cdot [\tau_s] \cdot n}}$$

mm	קוטר מסמרה נדרש לפי תנאי החוזק לגזירה	d_s
N	כוח הפועל על מסמרה בודדת	F_i
MPa	מאמץ מותר לגזירה	$[\tau_s]$
	n מספר שטחי גזירה (מספר לוחות מחבר פחות 1)	

נתון מאמץ כניעה ומקדם בטחון, מאמץ מותר לגזירה

$$[\tau_s] = 0.6 \cdot \frac{\sigma_y}{S}$$

MPa	מאמץ כניעה במתיחה ⁵	σ_y
MPa	מאמץ מותר לגזירה	$[\tau_s]$
	S מקדם בטחון (Safety factor)	
	לא נתון, הנח: $S = 2$	

(4) חשבו קוטר מסמרה נדרש לפי תנאי החוזק למעיכה

$$d_{lc} = \frac{F_i}{[\sigma_{lc}] \cdot t}$$

mm	קוטר מסמרה נדרש לפי תנאי החוזק למעיכה	d_{lc}
N	כוח הפועל על מסמרה בודדת	F_i
MPa	מאמץ מותר למעיכה	$[\sigma_{lc}]$
mm	עובי שטח המגע <u>הקטן</u> ביותר	t

המשך בעמוד הבא

⁵ נתון חומר, הוצא מאמץ כניעה מטבלה 1 נתוני פלדה ואלומיניום

קוטר מסמרה נדרש – המשך מעמוד קודם

נתון מאמץ כניעה ומקדם בטחון, מאמץ מותר למעיקה

$$[\sigma_{lc}] = 1.8 \cdot \frac{\sigma_y}{S}$$

MPa	מאמץ כניעה במתיחה	σ_y
MPa	מאמץ <u>מותר</u> למעיקה	$[\sigma_{lc}]$
	מקדם בטחון (Safety factor)	S
	לא נתון, הנח: $S = 2$	

(5) מבין תוצאות סעיפים 3 ו-4, בחרו בתוצאה הגדולה.

(6) קבע קוטר מסמרה תקני

מומלץ	1	1.2	1.6	2	2.5	3	3.5	4	5	6	8
בעדיפות נמוכה	1.4										7
מומלץ	10	12	16	20	24	30	36				
בעדיפות נמוכה	14	18	22	27	33	39					

המלצות:

$d \leq 8$ תהליך הסמור יבוצע **בקור**
 $d > 8$ תהליך הסמור יבוצע **בחום**

הערה:

במידה ולא נתון עובי הפח מחשבים את קוטר המסמרה בהתאם לתנאי החוזק לגזירה בלבד ואת עובי הפח מחשבים לפי תנאי החוזק למעיקה.

כוח מרבי שמסמרה יכולה לשאת

(1) חשבו כוח מרבי לפי תנאי החוזק לגזירה

$$[F_S] = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot [\tau_s] \cdot n}{4}$$

N	כוח מרבי במסמרה לפי תנאי החוזק לגזירה	$[F_S]$
mm	קוטר מסמרה בודדת	d
MPa	מאמץ מותר לגזירה	$[\tau_s]$
n	מספר שטחי גזירה (מספר לוחות מחבר פחות 1)	

(2) חשבו כוח מרבי לפי תנאי החוזק למעיכה

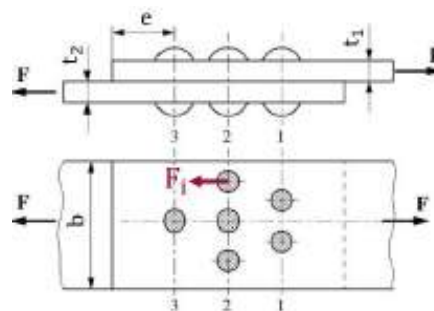
$$[F_{lc}] = [\sigma_{lc}] \cdot d \cdot t$$

N	כוח מרבי במסמרה לפי תנאי החוזק למעיכה	$[F_{lc}]$
MPa	מאמץ מותר למעיכה	$[\sigma_{lc}]$
mm	קוטר מסמרה בודדת	d
mm	עובי שטח המגע הקטן ביותר	t

(3) מבין תוצאות סעיפים 1 ו-2, בחרו בתוצאה הקטנה.

הערות:

* כוח מרבי שניתן להפעיל על מחבר עמוס כוח סימטרי



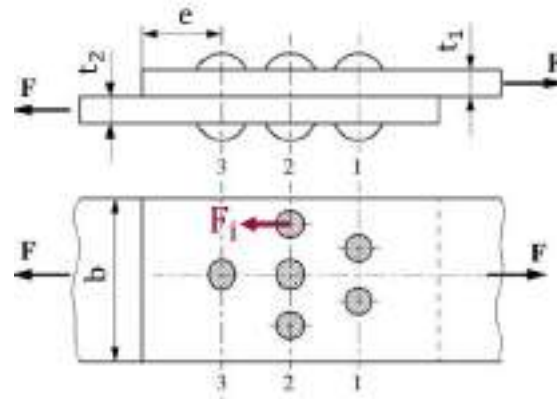
$$F = [F_i] \cdot i_{tot}$$

* מספר מסמרות נדרשות במחבר עמוס כוח סימטרי

$$i_{tot} = \frac{F}{[F_i]}$$

דוגמה 3

באיור לשאלה מתוארים שני פחים המחוברים ביניהם באמצעות מסמרות.



נתונים:

$d = 10 \text{ mm}$	קוטר מסמרה
$t_1 = t_2 = 8 \text{ mm}$	עובי כל אחד מהלוחות
$F = 84000 \text{ N}$	הכוח הפועל על המחקר
$[\tau_s] = 120 \text{ MPa}$	מאמץ מותר לגזירה לחומר המסמרות
$[\sigma_{lc}] = 320 \text{ MPa}$	מאמץ מותר למעיכה לחומר המסמרות

מהו מספר המסמרות המזער הדרוש לחיבור זה ?

פתרון דוגמה 3

(1) כוח מרבי לפי תנאי החוזק לגזירה

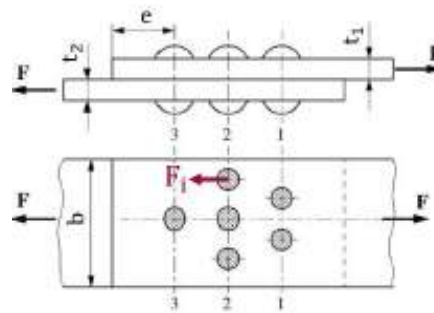
$$[F_s] = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot [\tau_s] \cdot n}{4} = \frac{10^2 \cdot \pi \cdot 120 \cdot 1}{4} = 9425 \text{ N}$$

(2) חשבו כוח מרבי לפי תנאי החוזק למעיקה

$$[F_{lc}] = [\sigma_{lc}] \cdot d \cdot t = 320 \cdot 10 \cdot 8 = 25600 \text{ N}$$

(3) מבין תוצאות סעיפים 1 ו-2, בחרו בתוצאה הקטנה.

$$[F_i] = 9425 \text{ N}$$

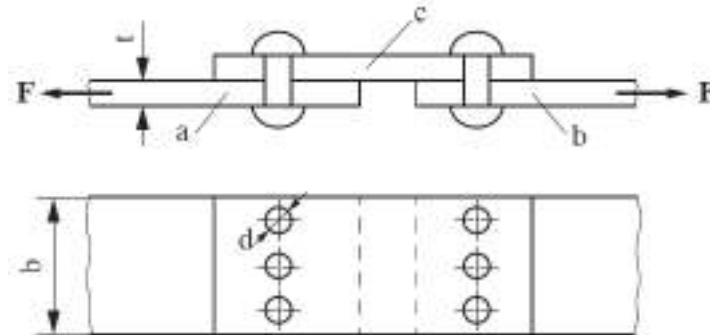


* מספר מסמרות נדרשות במחבר עמוס כוח סימטרי

$$i_{tot} = \frac{F}{[F_i]} = \frac{84000}{9425} = 9$$

דוגמה 4

באיור לשאלה מתואר בשני מבטים מחבר המורכב משלושה פחים (a, b, c). פח c, מחבר אליו מצדו האחד את פח a ומצדו השני את פח b, באמצעות שש מסמרות זהות – שלוש מסמרות מכל צד. הפחים a ו-b נמתחים כל אחד בכוח F.



נתונים:

$$F = 42 \text{ kN}$$

$$t = 8 \text{ mm}$$

$$[\tau_s] = 80 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{lc}] = 120 \text{ MPa}$$

$$d = 8, 10, 12, 14, 16, 18 \text{ mm}$$

הכוח הפועל על כל אחד מהפחים

עובי כל אחד מהפחים a, b, c

מאמץ מותר לגזירה לחומר המסמרות

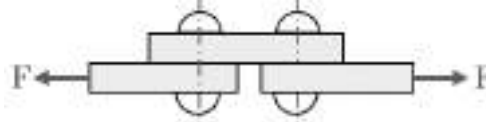
מאמץ מותר למעיכה לחומר המסמרות

קוטר מסמרות אפשריים לשימוש:

מהו קוטר המסמרות הדרוש לחיבור זה ?

פתרון דוגמה 4

(1) לפי סוג המחבר, קבעו את אופן חלוקת הכוח



(2) קבעו את עוצמת כוח הפועל על מסמרה בודדת

מחבר עמוס כוח סימטרי F

$$F_i = \frac{F}{i_{tot}} = \frac{42000}{3} = 14000 \text{ N}$$

(3) חשבו קוטר מסמרה נדרש לפי תנאי החוזק לגזירה

$$d_s = \sqrt{\frac{F_i}{\frac{\pi}{4} \cdot [\tau_s] \cdot n}} = \sqrt{\frac{14000}{\frac{\pi}{4} \cdot 80 \cdot 1}} = 14.92 \text{ mm}$$

(4) חשבו קוטר מסמרה נדרש לפי תנאי החוזק למעיכה

$$d_{lc} = \frac{F_i}{[\sigma_{lc}] \cdot t} = \frac{14000}{120 \cdot 8} = 14.58 \text{ mm}$$

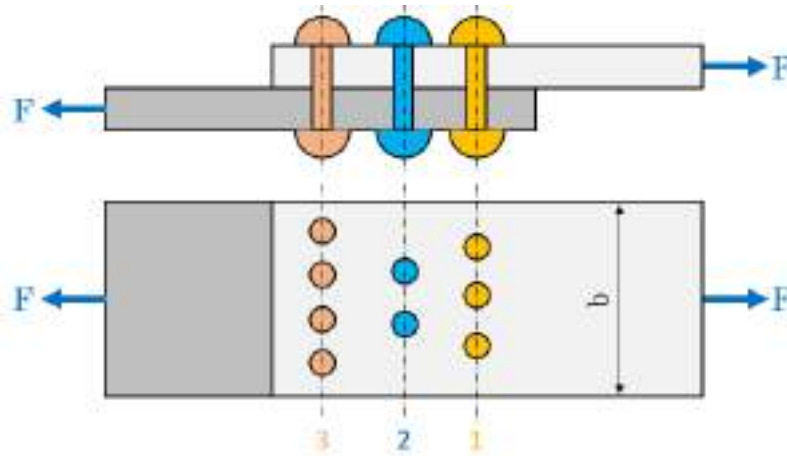
(5) מבין תוצאות סעיפים 3 ו-4, בחרו בתוצאה הגדולה.

$$d = 14.92 \text{ mm}$$

(6) קבע קוטר מסמרה תקני

$$d = 16 \text{ mm}$$

תכן לוחות המחבר



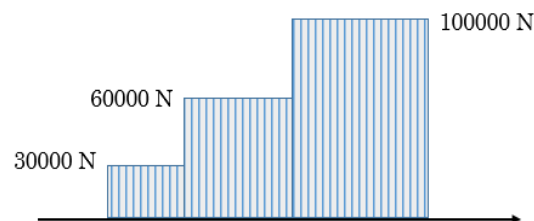
קביעת כוח מרבי (איתור חתך מסוכן)

לוח עליון

$$\begin{aligned} F_1 &= F && \text{חתך ①} \\ F_2 &= \frac{i_{tot} - i_1}{i_{tot}} \cdot F && \text{חתך ②} \\ F_3 &= \frac{i_{tot} - (i_1 + i_2)}{i_{tot}} \cdot F && \text{חתך ③} \\ F_n &= \frac{i_{tot} - (i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_{n-1})}{i_{tot}} \cdot F && \text{חתך n} \end{aligned}$$

לוח תחתון

$$\begin{aligned} F_3 &= F && \text{חתך ③} \\ F_2 &= \frac{i_{tot} - i_3}{i_{tot}} \cdot F && \text{חתך ②} \\ F_1 &= \frac{i_{tot} - (i_3 + i_2)}{i_{tot}} \cdot F && \text{חתך ①} \\ F_n &= \frac{i_{tot} - (i_{n-1} + \dots + i_3 + i_2 + i_1)}{i_{tot}} \cdot F && \text{חתך n} \end{aligned}$$



גרף דוגמה לחלוקת כוח

תנאי חוזק למתיחה

מאמץ מותר

$$[\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{S}$$

MPa	σ_y	מאמץ כניעה במתיחה ⁶
MPa	$[\sigma_t]$	מאמץ מותר למתיחה / לחיצה
	S	מקדם בטחון (Safety factor)
		לא נתון, הנח: $S = 2$

תנאי חוזק

$$\sigma_{t-n} = \frac{F_n}{A_t} \leq [\sigma_t]$$

$$A_{t-n} = (b - i_n \cdot d) \cdot t$$

MPa	σ_{t-n}	מאמץ מתיחה המתפתח בחתך לוח חיבור נבדק
MPa	$[\sigma_t]$	מאמץ מותר למתיחה / לחיצה
N	F_n	כוח הפועל בחתך n של לוח החיבור
mm ²	A_{t-n}	שטח חתך n מתנגד לפעולת הכוח (ניצב לכוח)
mm	d	קוטר מסמרה בודדת
mm	t	עובי שטח המגע הקטן ביותר
mm	b	רוחב לוחות המחובר
	i_n	מספר מסמרות בחתך לוח חיבור נבדק

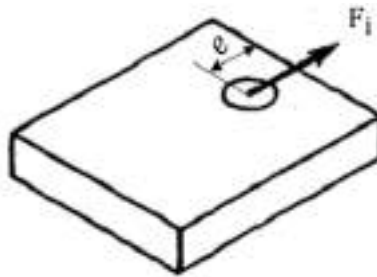
רוחב לוחות המחובר

$$b = \frac{F_n}{[\sigma_t] \cdot t} + i_n \cdot d$$

MPa	$[\sigma_t]$	מאמץ מותר למתיחה / לחיצה
N	F_n	כוח הפועל בחתך n של לוח החיבור
mm	d	קוטר מסמרה בודדת
mm	t	עובי שטח המגע הקטן ביותר
mm	b	רוחב לוחות המחובר
	i_n	מספר מסמרות בחתך לוח חיבור נבדק

⁶ נתון חומר, הוצא מאמץ כניעה מטבלה 1 נתוני פלדה ואלומיניום

מרחק קצה



מאמץ מותר

$$[\tau_s] = 0.6 \cdot \frac{\sigma_y}{S}$$

MPa	מאמץ כניעה במתיחה ⁷	σ_y
MPa	מאמץ <u>מותר</u> לגזירה	$[\tau_s]$
	מקדם בטחון (Safety factor)	S
	לא נתון, הנח: $S = 2$	

תנאי חוזק

$$\tau_s = \frac{F_i}{A_s} \leq [\tau_s]$$

$$A_s = 2 \cdot \left(e - \frac{d}{2} \right) \cdot t$$

MPa	מאמץ גזירה <u>המתפתח</u> בחתך נתון	τ_s
MPa	מאמץ <u>מותר</u> לגזירה	$[\tau_s]$
N	כוח הפועל על <u>מסמרה בודדת</u>	F_i
mm ²	שטח מתנגד לפעולת הכוח (<u>מקביל</u> לכוח)	A_s
mm	מרחק 'קצה'	e
mm	קוטר מסמרה בודדת	d
mm	עובי שטח המגע <u>הקטן ביותר</u>	t

מרחק קצה

$$e = \frac{F_i}{[\tau_s] \cdot 2 \cdot t} + \frac{d}{2}$$

⁷ נתון חומר, הוצא מאמץ כניעה מטבלה 1 נתוני פלדה ואלומיניום

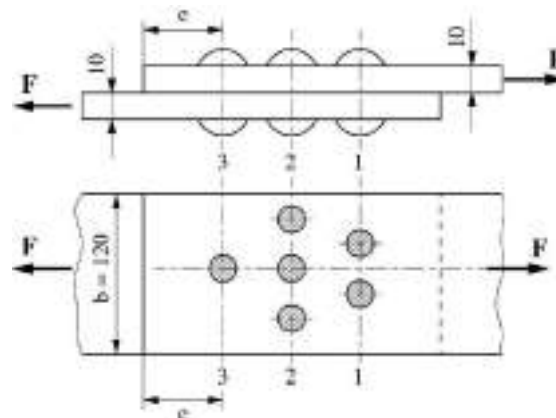
דוגמה 5

במבנה שבאיור לשאלה מחוברים שני לוחות פלדה באמצעות שש מסמרות שקוטר כל אחת מהן 14 mm .

על המבנה פועל כוח $F = 60 \text{ kN}$.

נתונים:

מאמץ מותר לגזירה לחומר המסמרות והלוחות $[\tau_s] = 70 \text{ MPa}$



דרוש:

- הציגו תרשים של כוחות המתיחה בכתמים 1, 2, 3.
- חשבו את מאמצי המתיחה, המתפתחים בכתך 2-2 בכל אחד משני הלוחות.
- חשבו את המרחק e , הנדרש בלוח העליון.

פתרון דוגמה 4

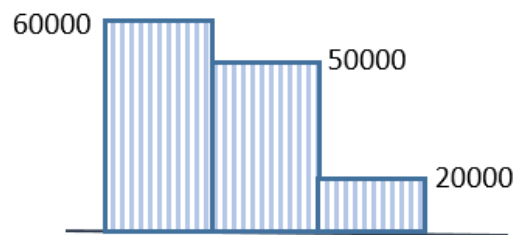
א. הציגו תרשים של כוחות המתיחה בחתכים 1, 2, 3

ב. לוח תחתון

$$F_3 = F = 60000 \text{ N} \quad \text{חתך ③}$$

$$F_2 = \frac{i_{tot} - i_3}{i_{tot}} \cdot F = \frac{6 - 1}{6} \cdot 60000 = 50000 \text{ N} \quad \text{חתך ②}$$

$$F_1 = \frac{i_{tot} - (i_3 + i_2)}{i_{tot}} \cdot F = \frac{6 - (1 + 3)}{6} \cdot 60000 = 20000 \text{ N} \quad \text{חתך ①}$$

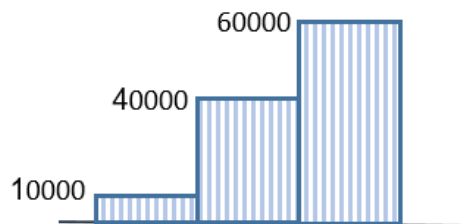


לוח עליון

$$F_1 = F = 60000 \text{ N} \quad \text{חתך ①}$$

$$F_2 = \frac{i_{tot} - i_1}{i_{tot}} \cdot F = \frac{6 - 2}{6} \cdot 60000 = 40000 \text{ N} \quad \text{חתך ②}$$

$$F_3 = \frac{i_{tot} - (i_1 + i_2)}{i_{tot}} \cdot F = \frac{6 - (2 + 3)}{6} \cdot 60000 = 10000 \text{ N} \quad \text{חתך ③}$$



המשך בעמוד הבא

דוגמה 5 – המשך מעמוד קודם

ג. חשבו את מאמצי המתיחה, המתפתחים בחתך 2-2 בכל אחד משני הלוחות.

לוח תחתון

$$\sigma_{t2} = \frac{F_{n2}}{A_t}$$

$$A_{t2} = (b - i_n \cdot d) \cdot t = (120 - 3 \cdot 14) \cdot 10 = 780 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{t2} = \frac{50000}{780} = 64 \text{ MPa}$$

לוח עליון

$$\sigma_{t2} = \frac{F_{n2}}{A_t}$$

$$A_{t2} = (b - i_n \cdot d) \cdot t = (120 - 3 \cdot 14) \cdot 10 = 780 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{t2} = \frac{40000}{780} = 51.3 \text{ MPa}$$

ד. חשבו את המרחק e , הנדרש בלוח העליון.

$$e = \frac{F_i}{2 \cdot t \cdot [\tau_s]} + \frac{d}{2}$$

$$F_i = \frac{F}{i_{tot}} = \frac{60000}{6} = 10000 \text{ N}$$

$$e = \frac{10000}{2 \cdot 10 \cdot 70} + \frac{14}{2} = 14.5 \text{ mm}$$

טבלה 1 – נתוני פלדה ואלומיניום

חישוב מאמצים מותרים לפי מאמץ ערכי המאמצים ב-MPa זאת חשורה של מקדמי הבטיחות				חישוב מאמצים מותרים לפי מאמץ קיצון - $[\sigma_{\text{ult}}]$				חישוב מאמצים מותרים לפי מאמץ כביעה - $[\sigma_y]$			
מקדמי הבטיחות				מקדמי הבטיחות				מקדמי הבטיחות			
[S]				[S]				[S]			
סוג הפלדה	מאמץ קיצון	מאמץ כביעה	HB	מתיחה $[\sigma_t]$	גזירה $[\sigma_s]$	כפיפה $[\sigma_b]$	מערכה $[\sigma_{\text{ec}}]$	מתיחה $[\sigma_t]$	גזירה $[\sigma_s]$	כפיפה $[\sigma_b]$	מערכה $[\sigma_{\text{ec}}]$
St34	210	340	1000	105	63	126	210	97	58	117	194
St37	240	370	1100	120	72	144	240	106	63	127	211
St42	230	420	1550	115	69	138	230	120	72	144	240
St44	260	440	1300	130	78	156	260	126	75	151	251
St50	300	500	1725	150	90	180	300	143	86	171	286
St60	360	600	2025	180	108	216	360	171	103	206	343
SAE1010	180	355	950	90	54	108	180	101	61	122	203
SAE1015	230	400	1425	115	69	138	230	114	69	137	229
SAE1020	330	448	1400	165	99	198	330	128	77	154	256
SAE1030	300	500	1725	150	90	180	300	143	86	171	286
SAE1040	350	550	2050	175	105	210	350	157	94	189	314
SAE1050	400	625	2350	200	120	240	400	179	107	214	357
SAE1060	482	812	2400	241	145	289	482	232	139	278	464
SAE1080	375	615	1740	188	113	225	375	176	105	211	351
SAE3140	422	690	1900	211	127	253	422	197	118	237	394
SAE4130	360	560	1500	180	108	216	360	160	96	192	320
SAE4140	700	1000	2800	350	210	420	700	286	171	343	571
SAE4320	424	580	1600	212	127	254	424	166	99	199	331
SAE4340	700	1000	2800	350	210	420	700	286	171	343	571
SAE4620	372	512	1500	186	112	223	372	146	88	176	293
SAE5140	292	572	1600	146	88	175	292	163	98	196	327
SAE5150	355	670	1970	178	107	213	355	191	115	230	383
SAE5160	276	722	1900	138	83	166	276	206	124	248	413
SAE6150	410	660	1900	205	123	246	410	189	113	226	377
SAE8650	386	715	2100	193	116	232	386	204	123	245	409
SAE9260	480	770	2220	240	144	288	480	220	132	264	440
C10	250	370	1300	125	75	150	250	106	63	127	211
C15	300	575	1400	150	90	180	300	164	99	197	329
C22	360	600	1550	180	108	216	360	171	103	206	343
C35	420	775	1720	210	126	252	420	221	133	266	443
C45	480	825	2060	240	144	288	480	236	141	283	471
C60	570	950	2430	285	171	342	570	271	163	326	543
Al5052 _{H14}	276	310	60								
Al6061 _{T6}	193	228	95								

הערה: בטבלה (מבוססת על קובץ אקסל) זו החישובים לפי: $[\sigma_b]=1.2 \cdot [\sigma_t]$, $[\sigma_{\text{ec}}]=2 \cdot [\sigma_t]$, $[\sigma_s]=0.6 \cdot [\sigma_t]$

ניתן להשתמש בערך של $E=200000\text{MPa}$ עבור מודול האלסטיות לפלדות ומודול גזירה $G=80000\text{MPa}$

$E_{\text{Al5052}}=70300\text{MPa}$

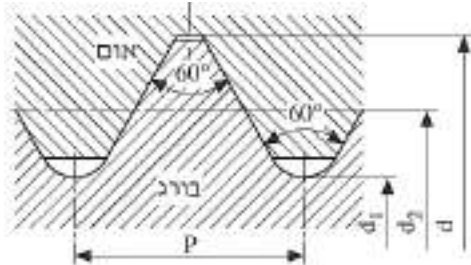
$G_{\text{Al5052}}=25900\text{MPa}$

$E_{\text{Al6061}}=68900\text{MPa}$

$G_{\text{Al6061}}=26000\text{MPa}$

5. ברגי הדוק

טבלה 2 – תברגי הידוק מטריים (ת"י 13,665 Din)



$$\alpha = 30^\circ$$

$$k = 0.85$$

חצי זווית פרופיל שן

מקדם עובי בסיס

תברגים רגילים					תברגים עדינים			
קוטר חיצוני	פסיעה	שטח חתך למתיחה	קוטר פנימי	קוטר אפקטיבי	פסיעה	שטח חתך למתיחה	קוטר פנימי	קוטר אפקטיבי
d (mm)	p (mm)	A (mm ²)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	p (mm)	A (mm ²)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)
2	0.4	1.79	1.509	1.740				
2.5	0.45	2.98	1.948	2.200				
3	0.5	4.47	2.387	2.675				
3.5	0.6	6	2.764	3.110				
4	0.7	7.75	3.141	3.545				
5	0.8	12.70	4.079	4.420				
6	1	17.9	4.773	5.350				
8	1.25	32.8	6.466	7.188	1	36.0	6.773	7.350
10	1.5	52.3	8.16	9.062	1.25	56.3	8.466	9.188
12	1.75	76.3	9.853	10.863	1.25	86.0	10.466	10.647
14	2	104	11.546	12.701	1.5	116	12.160	13.026
16	2	144	13.546	14.701	1.5	157	14.160	15.026
20	2.5	225	16.933	18.376	1.5	259	18.760	19.026
24	3	324	20.319	22.051	2	365	21.546	22.701
30	3.5	519	25.706	27.727	2	596	27.546	28.701
36	4	759	31.092	33.402	2	884	33.546	34.701
42	4	1050	36.779	39.077	2	1230	39.546	40.701
48	5	1380	41.866	44.752	2	1630	45.456	46.701
56	5.5	1910	49.252	52.428	2	2250	53.516	54.701
64	6	2520	56.639	60.639	2	2980	61.546	62.701

הערות:

- * כל עוד לא צוין אחרת הבורג הוא בעל תברג רגיל.
- * במידה וצוינה פסיעה בדוק בעמודות הפסיעה האם היא מתאימה לבורג מסוג 'רגיל' או לבורג מסוג 'עדין'.

טבלה 3 – תקן Din 898

תכונות החוזק של הפלדות המשמשות לבורגי הידוק

קבוצת חוזק	תחום השימוש	גבול אלסטיות σ_e (MPa)	חוזק גבולי לסתיחה σ_B (MPa)	גבול כניעה σ_y (MPa)	חומר בורג	סימן הראש	דרגת חוזק אום	חוזק גבולי מוערי-אום (MPa)
4.6	M5-M36	225	400	240	פלדה דלת-פחמן או פלדה בינונית	4.6	4	400
4.8	M1.6-M16	310	420	340	פלדה דלת-פחמן או פלדה בינונית	4.8	4	400
5.8	M5-M24	380	530	420	פלדה דלת-פחמן או פלדה בינונית	5.8	5	500
8.8	M1.6-M36	600	830	660	פלדת פחמן בינונית	8.8	8	800
9.8	M1.6-M16	650	900	720	פלדה פחמן בינונית	9.8	9	900
10.9	M5-M36	830	1040	940	פלדה פחמן בינונית	10.9	10	1000
12.9	M1.6-M36	970	1220	1100	פלדת מסג	12.9	12	1200

* לאחד טיפול תרמי (חיסום והרפיה).

דרוש

קביעת דרגת חוזק (ידוע מאמץ כניעה נדרש)
על-פי מאמץ כניעה חפשו בתקן Din 898 שורה בה מאמץ כניעה שווה או גדול מהנדרש.

מאמץ מותר (נתונה דרגת חוזק ומקדם בטחון S)
על-פי דרגת החוזק הוציאו מתקן Din 898 מאמץ גבולי
כניעה – σ_y
מאמץ **מותר** לחומר הבורג

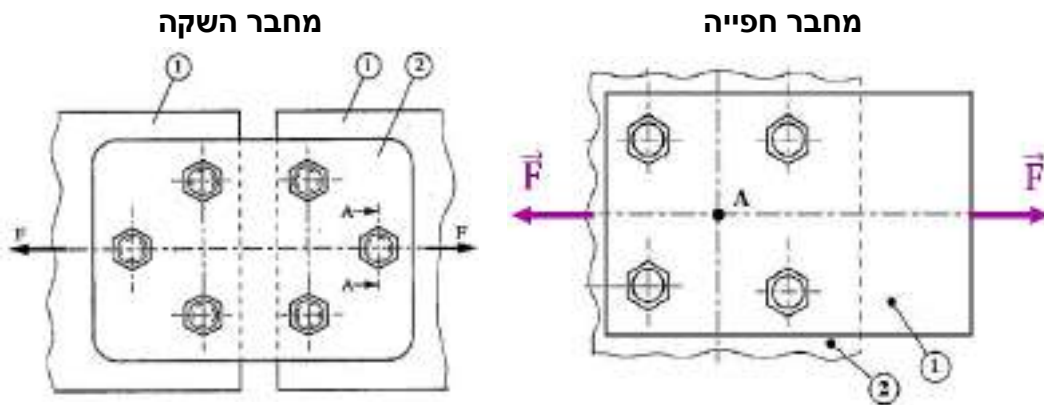
$$[\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{S}$$

$[\sigma_t]$ מאמץ **מותר** לחומר הבורג MPa
 σ_y מאמץ כניעה חומר הבורג (Din 898) MPa
 S מקדם בטחון (Safety factor)
 לא נתון, הנח: $S = 2.5$

כוח צירי Q נדרש בקנה הבורג

נעזר בנוסחאות הבאות כדי לחשב את ערכו של כוח צירי Q הנדרש בקנה בורג הידוק, עבור מחבר העמוס כוח F או מומנט סיבוב M_t (או עבור המקרה ההפוך בו נדרש לחשב את ערכו של הכוח F או מומנט סיבוב M_t המותר עקב התפתחות כוח צירי Q בקנה הבורג).

אופן חלוקת הכוח, לפי סוג המחבר:



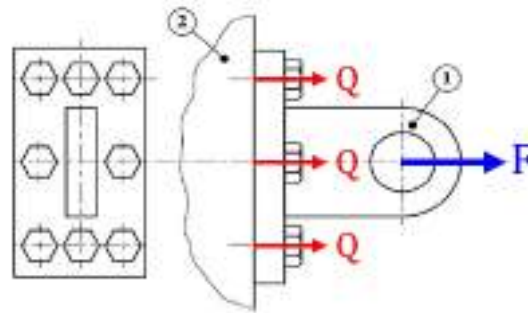
הכוח מתחלק בין מחצית ברגי המחבר

הכוח מתחלק בין כל ברגי המחבר

הערה: הנוסחאות בעמודים הבאים מתאימות למצב בו פועל **כוח חיצוני אחד בלבד**. במידה ויש כוחות חיצוניים נוספים יש לחשב את הכוח הציר הדרוש

כוח צירי בודד

- 1) קו פעולת הכוח החיצוני F , עובר דרך מרכז הכובד של ברגי החיבור בניצב למישור החיבור. כל בורג נדרש להפעיל כוח צירי Q שווה, שכיוונו מקביל לקו פעולת הכוח.
- המטרה:** להבטיח את הצמדת החלקים זה לזה.

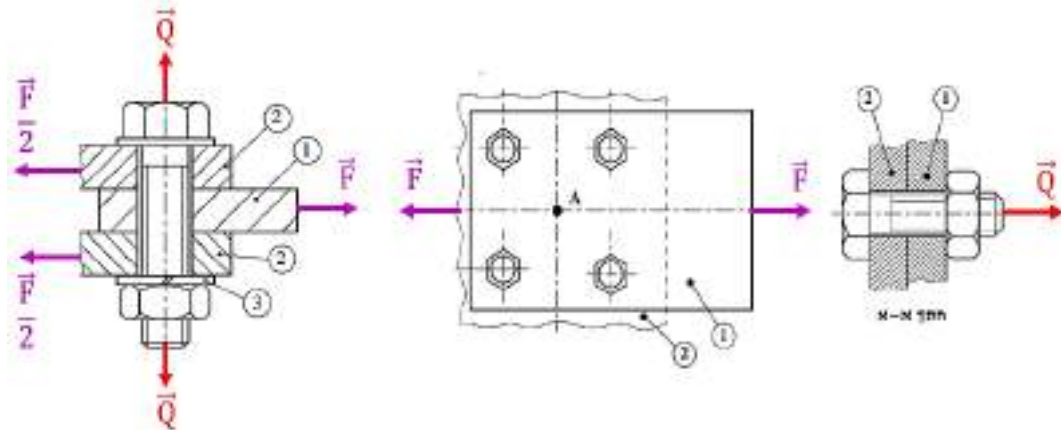


$$Q = \frac{F}{i}$$

Q	כוח צירי <u>נדרש</u> בקנה בורג בודד	N
F	כוח חיצוני הפועל <u>על המחבר</u>	N
i	מספר ברגי המחבר	

(2) קו פעולת הכוח החיצוני F , עובר דרך מרכז הכובד של ברגי החיבור במקביל למישור החיבור. כל בורג נדרש להפעיל כוח צירי Q שווה, שכיוונו ניצב לקו פעולת הכוח.

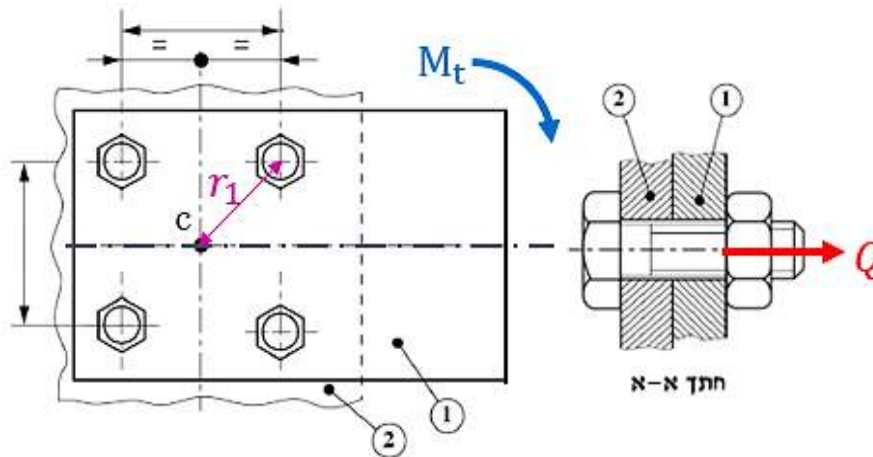
המטרה: למנוע החלקה של החלקים זה ביחס לזה, העלולה לגרום לגזירת הברגים.



$$Q = \frac{F \cdot f_k}{i \cdot n_i \cdot \mu_o}$$

N	כוח צירי <u>נדרש</u> בקנה בורג בודד	Q
N	כוח חיצוני הפועל <u>על המחבר</u>	F
	מקדם החלקה (עומס יתר)	f_k
	לא נתון, הנח: $f_k = 1.2$	
	מספר ברגי המחבר	i
	מספר שטחי מגע בין לוחות המחבר	n_i
	מספר לוחות חיבור פחות 1	
	מקדם חיכוך בין <u>לוחות המחבר</u>	μ_o

(3) מומנט סיבוב M_t , פועל מקביל למישור הברגים, שואף לסובב את הלוחות ביחס למרכז הסיבוב C. כתוצאה מהתנגדות לסיבוב נוצר בכל בורג כוח הקפי הפועל בניצב למרחק r_i (אורך ישר המחבר בין ציר הסיבוב ומרכז הבורג), בכיוון סיבוב הגוף העלול לגרום לגזירת קנה הברגים.. תפקיד הכוח הצירי Q להצמיד את הלוחות זה לזה וכך למנוע את סיבוב הלוחות זה ביחס לזה.

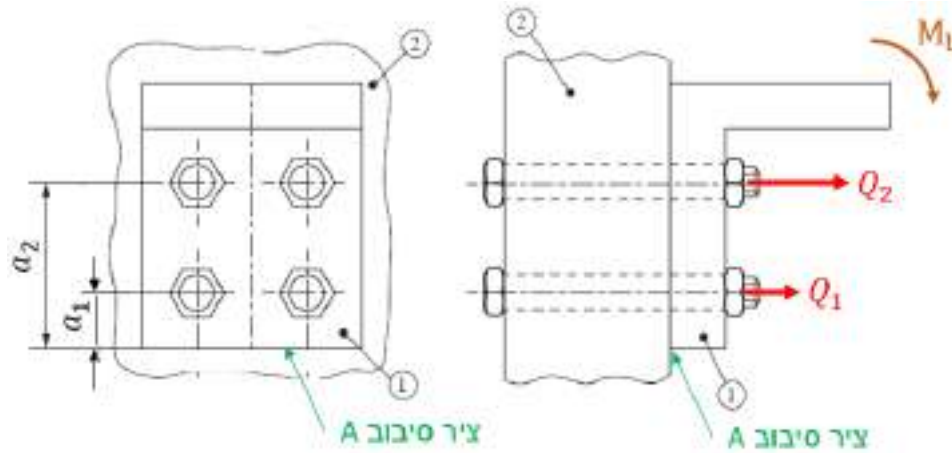


$$Q = M_t \cdot \frac{f_k \cdot r_i}{n_i \cdot \mu_o \cdot \sum r_i^2}$$

N	כוח צירי <u>נדרש</u> בקנה בורג בודד	Q
Nmm	מומנט סיבוב חיצוני הפועל על המחבר	M_t
	מקדם החלקה (עומס יתר)	f_k
	לא נתון, הנח: $f_k = 1.2$	
	מספר שטחי מגע בין לוחות המחבר	n_i
	מספר לוחות חיבור פחות 1	
	מקדם חיכוך בין <u>לוחות המחבר</u>	μ_o
mm	מרחק בורג בודד ממרכז הסיבוב r_i	r_i
mm ²	סכום מרחקי הברגים	$\sum r_i^2$

⁸ לקבלת כוח צירי מרבי הצב במונה: $r_i = r_{max}$ עבור כוח צירי בברגים אחרים הצב במונה את רדיוס הבורג מציר הסיבוב.

(4) מומנט כפיפה M_b , פועל במישור מרכז הכובד של החיבור הבורגי (במקרה המתואר פעולת המומנט נגד כיוון השעון). המטרה למנוע את סיבוב הלוח ① סביב ציר A.



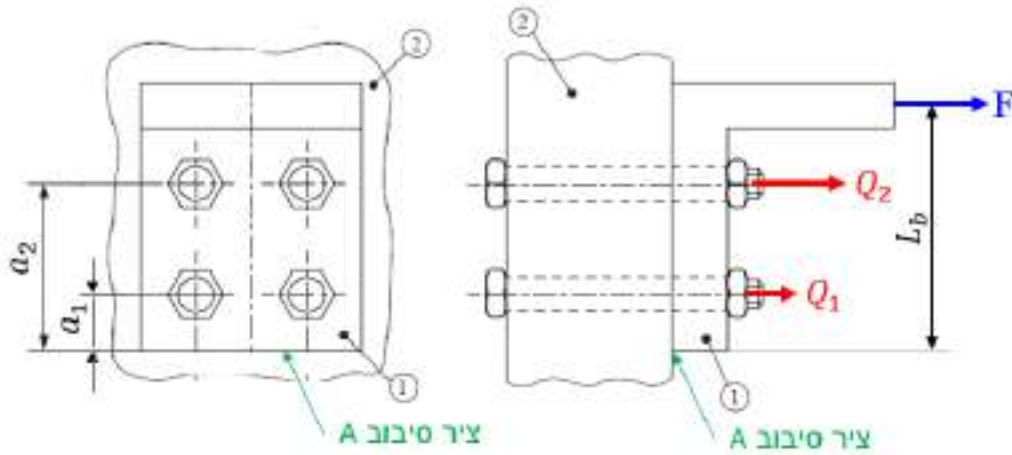
$$Q = M_b \cdot \frac{a_i}{\sum (i_n \cdot a_i^2)}$$

N	כוח צירי <u>נדרש</u> בקנה בודד	Q
Nmm	מומנט כפיפה הפועל על המחבר	M_b
mm	מרחק שורה בודדת מציר סיבוב A ⁹	a_i
	מספר ברגים בשורה n	i_n
mm ²	סכום מרחקי הברגים	$\sum (i_n \cdot a_i^2)$

⁹ לקבלת כוח צירי מרבי הצב במונה: $a_i = a_{max}$ עבור כוח צירי בברגים אחרים הצב במונה את מרחק השורה מציר הסיבוב.

כוח צירי מורכב

(5) קו פעולת הכוח מצוי במרחק L_b מציר סיבוב A. בקנה הבורג נדרש כוח צירי Q מורכב הממלא שני תפקידים: הצמדת החלקים זה לזה, מניעת סיבוב לוח (1) סביב ציר A.



כוח צירי נדרש להצמדת החלקים זה לזה

$$Q_t = \frac{F}{i}$$

Q_t כוח צירי נדרש להצמדת החלקים זה לזה N
F כוח חיצוני הפועל על המחבר N
i מספר ברגי המחבר

המשך בעמוד הבא

מקרה 5 – המשך מעמוד קודם

כוח צירי נדרש למניעת סיבוב הלוח ① סביב ציר סיבוב A

$$Q_b = M_b \cdot \frac{a_i}{\sum(i_n \cdot a_i^2)}$$

$$M_b = F \cdot L_b$$

N	כוח צירי <u>נדרש</u> למניעת סיבוב ציר סיבוב A	Q_b
Nmm	מומנט כפיפה	M_b
N	כוח חיצוני הפועל <u>על המחבר</u>	F
mm	מרחק הכוח מנקודת סיבוב A	L_b
mm	מרחק שורה בודדת מציר סיבוב A ¹⁰	a_i
	מספר ברגים בשורה n	i_n
mm ²	סכום מרחקי הברגים	$\sum(i_n \cdot a_i^2)$

כוח צירי מורכב

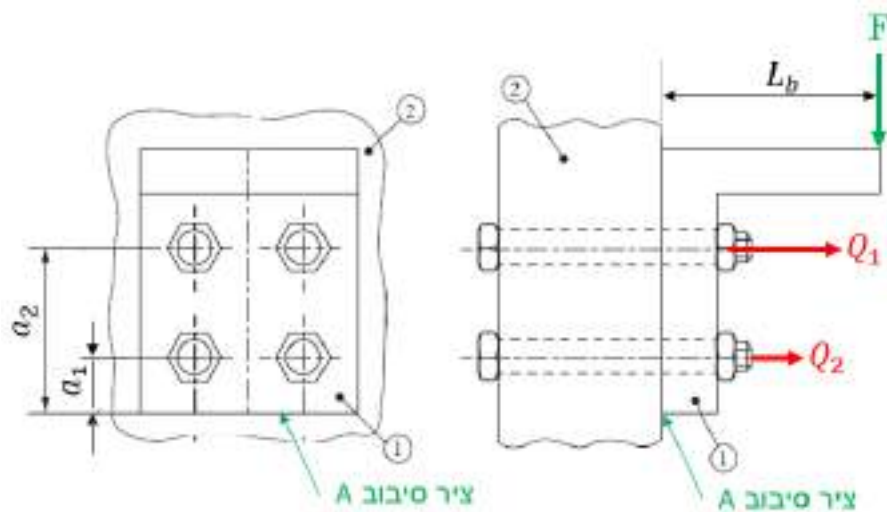
$$Q = Q_t + Q_b$$

N	כוח צירי <u>נדרש</u> בקנה בורג בודד	Q
N	כוח צירי נדרש להצמדת החלקים זה לזה	Q_t
N	כוח צירי נדרש למניעת סיבוב ציר סיבוב A	Q_b

¹⁰ לקבלת כוח צירי מרבי הצב במונה: $a_i = a_{max}$ עבור כוח צירי בברגים אחרים הצב במונה את מרחק השורה מציר הסיבוב.

(6) קו פעולת הכוח מצוי במרחק L_b מקו (נקודת סיבוב) A.

בקנה הבורג נדרש כוח צירי Q מורכב הממלא שני תפקידים: מניעת החלקה בין החלקים העלולה לגרום לגזירת ברגי החיבור, מניעת סיבוב לוח ① סביב ציר A.



כוח צירי נדרש למניעת החלקת הלוחות זה ביחס לזה

$$Q_f = \frac{F \cdot f_k}{i \cdot n_i \cdot \mu_o}$$

Q_f	כוח צירי <u>נדרש</u> למניעת החלקת הלוחות	N
F	כוח חיצוני הפועל <u>על המחבר</u>	N
f_k	מקדם החלקה (עומס יתר)	
	לא נתון, הנח: $f_k = 1.2$	
i	מספר ברגי המחבר	
n_i	מספר שטחי מגע בין לוחות המחבר	
	מספר לוחות חיבור פחות 1	
μ_o	מקדם חיכוך בין <u>לוחות המחבר</u>	

המשך בעמוד הבא

מקרה 6 – המשך מעמוד קודם

כוח צירי נדרש למניעת סיבוב הלוח ① סביב ציר סיבוב A

$$Q_b = M_b \cdot \frac{a_i}{\sum(i_n \cdot a_i^2)}$$

$$M_b = F \cdot L_b$$

N	כוח צירי <u>נדרש</u> למניעת סיבוב סביב ציר A	Q_b
Nmm	מומנט כפיפה	M_b
N	כוח חיצוני הפועל <u>על המחבר</u>	F
mm	מרחק הכוח מנקודת סיבוב A	L_b
mm	מרחק שורה בודדת מציר סיבוב A ¹¹	a_i
	מספר ברגים בשורה n	i_n
mm ²	סכום מרחקי הברגים	$\sum(i_n \cdot a_i^2)$

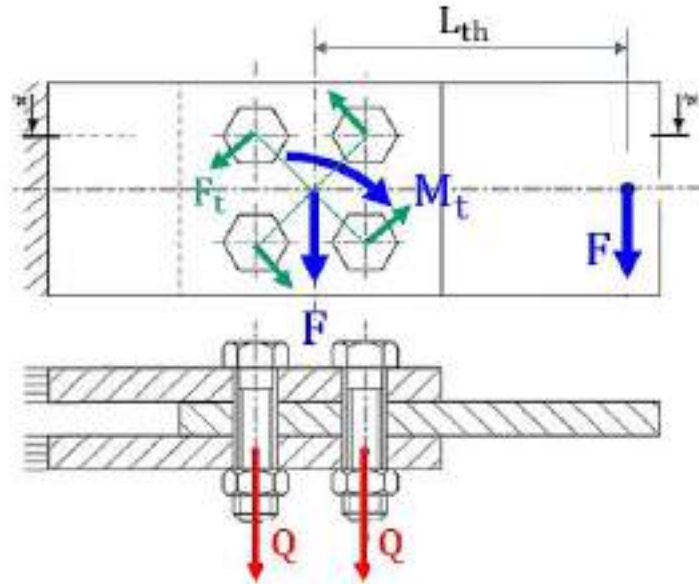
כוח צירי מורכב נדרש

$$Q = Q_f + Q_b$$

N	כוח צירי <u>נדרש</u> בקנה בורג בודד	Q
N	כוח צירי נדרש למניעת החלקה	Q_f
N	כוח צירי נדרש למניעת סיבוב סביב ציר A	Q_b

¹¹ לקבלת כוח צירי מרבי הצב במונה: $a_i = a_{max}$ עבור כוח צירי בברגים אחרים הצב במונה את מרחק השורה מציר הסיבוב.

7) קו פעולת הכוח החיצוני F , עובר במרחק L_{th} ממרכז הסיבוב C הכובד של ברגי החיבור **במקביל** למישור הברגים. בקנה הבורג נדרש כוח צירי Q **מורכב** הממלא שני תפקידים: מניעת החלקה בין החלקים העלולה לגרום לגזירת ברגי החיבור, יצירת כוח הקפי הפועל **בניצב** למרחק z (אורך ישר המחבר בין ציר הסיבוב למרכז הברגים), **בכיוון** סיבוב הגוף למניעת סיבוב הלוחות זה ביחס לזה.



כוח צירי נדרש למניעת החלקת הלוחות זה ביחס לזה

$$Q_f = \frac{F \cdot f_k}{i \cdot n_i \cdot \mu_o}$$

Q_f	כוח צירי נדרש למניעת החלקה
F	כוח חיצוני הפועל על המחבר
f_k	מקדם החלקה (עומס יתר)
	לא נתון, הנח: $f_k = 1.2$
i	מספר ברגי המחבר
n_i	מספר שטחי מגע בין לוחות המחבר
	מספר לוחות חיבור פחות 1
μ_o	מקדם חיכוך בין לוחות המחבר

המשך בעמוד הבא

מקרה 7 – המשך מעמוד קודם

כוח צירי נדרש למניעת סיבוב הלוחות זה ביחס לזה

$$Q_M = M_t \cdot \frac{f_k \cdot r_i}{n_i \cdot \mu_o \cdot \Sigma r_i^2}$$

$$M_t = F \cdot L_{tr}$$

N	כוח צירי <u>נדרש</u> להתנגד לסיבוב סביב ברגי חיבור	Q_M
Nmm	מומנט <u>סיבוב</u> חיצוני הפועל על המחבר	M_t
N	כוח חיצוני הפועל <u>על המחבר</u>	F
mm	מרחק הכוח ממרכז הסיבוב C	L_{tr}
	מקדם החלקה (עומס יתר)	f_k
	לא נתון, הנח: $f_k = 1.2$	
	מספר שטחי מגע בין לוחות המחבר	n_i
	מספר לוחות חיבור פחות 1	
	מקדם חיכוך בין <u>לוחות המחבר</u>	μ_o
mm	מרחק בורג <u>בודד</u> ממרכז הסיבוב C ¹²	r_i
mm ²	סכום מרחקי הברגים	Σr_i^2

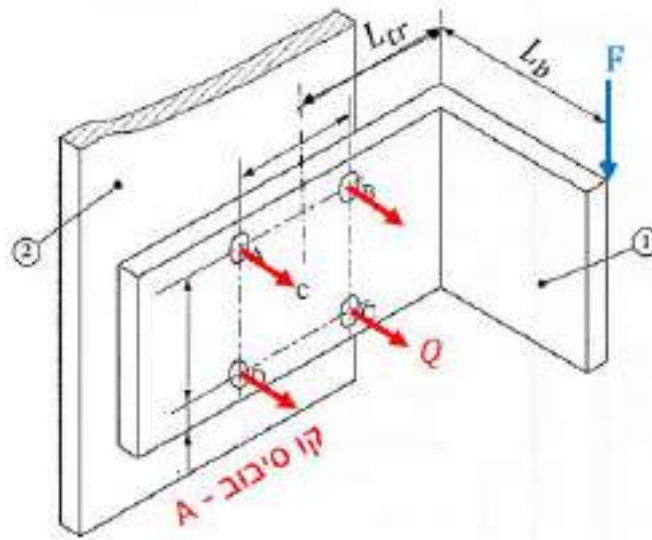
כוח צירי מורכב נדרש

$$Q = Q_f + Q_M$$

N	כוח צירי <u>נדרש</u> בקנה בורג בודד	Q
N	כוח צירי נדרש למניעת החלקה	Q_f
N	כוח צירי נדרש להתנגד לסיבוב סביב ברגי חיבור	Q_M

¹² לקבלת כוח צירי מרבי הצב במונה: $r_i = r_{max}$ עבור כוח צירי בברגים אחרים הצב במונה את רדיוס הבורג מציר הסיבוב.

(8) קו פעולת הכוח מרוחק L_b ממישור הברגים ו- L_{tr} ממרכז ברגי החיבור. המטרה יצירת כוח צירי **מורכב** הממלא שלושה תפקידים: מניעת החלקה בין החלקים העלולה לגרום לגזירת ברגי החיבור, יצירת כוח הקפי הפועל **בניצב** למרחק z (אורך ישר המחבר בין ציר הסיבוב למרכז הברגים), **בכיוון סיבוב הגוף** למניעת סיבוב הלוחות זה ביחס לזה, מניעת סיבוב לוח ① סביב ציר סיבוב A



כוח צירי נדרש למניעת החלקת הלוחות זה ביחס לזה

$$Q_f = \frac{F \cdot f_k}{i \cdot n_i \cdot \mu_o}$$

Q_f	כוח צירי נדרש למניעת החלקה
F	כוח חיצוני הפועל על המחבר
f_k	מקדם החלקה (עומס יתר)
	לא נתון, הנח: $f_k = 1.2$
i	מספר ברגי המחבר
n_i	מספר שטחי מגע בין לוחות המחבר
	מספר לוחות חיבור פחות 1
μ_o	מקדם חיכוך בין לוחות המחבר

המשך בעמוד הבא

מקרה 8 – המשך מעמוד קודם

כוח צירי נדרש למניעת סיבוב הלוח סביב מרכז הכובד C

$$Q_M = M_t \cdot \frac{f_k \cdot r_i}{n_i \cdot \mu_o \cdot \Sigma r_i^2}$$

$$M_t = F \cdot L_{tr}$$

Q_M	כוח צירי נדרש להתנגד לסיבוב סביב מרכז ברגי החיבור	N
M_t	מומנט סיבוב הפועל על המחבר	Nmm
F	כוח חיצוני הפועל על המחבר	N
L_{tr}	מרחק הכוח ממרכז הסיבוב C	mm
f_k	מקדם החלקה (עומס יתר)	
	לא נתון, הנח: $f_k = 1.2$	
n_i	מספר שטחי מגע בין לוחות המחבר	
	מספר לוחות חיבור פחות 1	
μ_o	מקדם חיכוך בין לוחות המחבר	
r_i	מרחק בורג בודד ממרכז הסיבוב C ¹³	mm
Σr_i^2	סכום מרחקי הברגים	mm ²

כוח צירי נדרש למניעת סיבוב הלוח סביב ציר (נקודת סיבוב) A

$$Q_b = M_b \cdot \frac{a_i}{\Sigma(i_n \cdot a_i^2)}$$

$$M_b = F \cdot L_b$$

Q_b	כוח צירי נדרש למניעת סיבוב סביב ציר A	N
M_b	מומנט כפיפה	Nmm
F	כוח חיצוני הפועל על המחבר	N
L_b	מרחק הכוח מנקודת סיבוב A	mm
a_i	מרחק שורה בודדת מציר סיבוב A ¹⁴	mm
i_n	מספר ברגים בשורה n	
$\Sigma(i_n \cdot a_i^2)$	סכום מרחקי הברגים	mm ²

המשך בעמוד הבא

¹³ לקבלת כוח צירי **מרבי** הצב במונה: $r_i = r_{max}$ עבור כוח צירי בברגים אחרים הצב במונה את רדיוס הבורג מציר הסיבוב.
¹⁴ לקבלת כוח צירי **מרבי** הצב במונה: $a_i = a_{max}$ עבור כוח צירי בברגים אחרים הצב במונה את מרחק השורה מציר הסיבוב.

מקרה 8 – המשך מעמוד קודם

כוח צירי מורכב נדרש

$$Q = Q_f + Q_M + Q_b$$

N	כוח צירי מורכב הפועל בקנה הבורג	Q
N	כוח צירי למניעת החלקה	Q_f
N	כוח צירי נדרש להתנגד לסיבוב סביב מרכז ברגי חיבור	Q_M
N	כוח צירי נדרש למניעת סיבוב סביב ציר A	Q_b

בחירת בורג הידוק

(1) בחרו באחת משיטות החישוב:

$$d_{1\min} = \sqrt{\frac{5 \cdot Q}{\pi \cdot [\sigma_t]}} \quad A_{\min} = 1.25 \cdot \frac{Q}{[\sigma_t]}$$

mm^2	שטח קנה בורג מזערי דרוש	$A_{\min}$
N	כוח צירי הפועל בקנה הבורג ¹⁵	Q
MPa	מאמץ מותר לחומר הבורג ¹⁶	$[\sigma_t]$
mm	קוטר קנה בורג מזערי דרוש	$d_{1\min}$

(2) בהתאם לשיטת החישוב בחרו מטבלה 2 (תקן Din 13) בורג בעל שטח קנה או קוטר קנה גדול או שווה למחושב.

(3) לאחר תהליך הבחירה בדקו את עמידת קנה הבורג בתנאי החוזק למאמץ משולב.

¹⁵ במידה ולא נתון כוח צירי – Q, קבע אותו בהתאם למקרים השונים.

¹⁶ נתונה דרגת חוזק ומקדם בטחון S – הוציאו מטבלה 3 (תקן Din 898) מאמץ כניעה וחשבו את המאמץ המותר לחומר הבורג.

עמידת קנה הבורג בתנאי החוזק למאמץ משולב

(1) השלימו נתוני תברג מטבלה 2 (Din 13)

d	=	mm
p	=	mm
d ₁	=	mm
d ₂	=	mm
A _t	=	mm ²

(2) מאמץ מתיחה מתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_t = \frac{Q}{A_t}$$

MPa	מאמץ מתיחה <u>מתפתח</u> בקנה הבורג	σ_t
N	כוח צירי הפועל בקנה הבורג	Q
mm ²	שטח קנה בורג <u>המתנגד</u> למתיחה	A _t
mm	קוטר קנה בורג (קוטר פנימי)	d ₁

(3) זוויות תברג
זווית מעלה

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2} \right)$$

°	זווית מעלה	γ
mm	פסיעת התברג	p
mm	קוטר תברג ממוצע (אפקטיבי)	d ₂

זווית חיכוך מתוקנת

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{\mu}{\cos 30^\circ} \right)$$

°	זווית חיכוך מתוקנת	φ'
	מקדם חיכוך בין <u>משטחי התברג</u>	μ

תנאי נעילה עצמית

$$\gamma \leq \varphi'$$

- ° זווית מעלה γ
- ° זווית חיכוך מתוקנת φ'

מסקנה " תנאי נעילה עצמית מתקיים/אינו מתקיים".

המשך בעמוד הבא

עמידת קנה הבורג בתנאי החוזק – המשך מעמוד קודם

(4) מאמץ פיתול מתפתח בקנה הבורג

$$\tau_t = \frac{8 \cdot Q \cdot d_2 \cdot \tan(\gamma + \varphi')}{\pi \cdot d_1^3}$$

MPa	מאמץ פיתול <u>מתפתח</u> בקנה הבורג	τ_t
N	כוח צירי הפועל בקנה הבורג	Q
mm	קוטר תברג ממוצע (אפקטיבי)	d_2
°	זווית מעלה	γ
°	זווית חיכוך מתוקנת	φ'
mm	קוטר קנה בורג (קוטר פנימי)	d_1

(5) מאמץ משולב מתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2}$$

MPa	מאמץ מורכב <u>המתפתח</u> בקנה הבורג	σ_e
MPa	מאמץ מתיחה <u>המתפתח</u> בקנה הבורג	σ_t
MPa	מאמץ פיתול <u>המתפתח</u> בקנה הבורג	τ_t

(6) תנאי חוזק

$$\sigma_e \leq [\sigma_t]$$

MPa	מאמץ מורכב <u>המתפתח</u> בקנה הבורג	σ_e
MPa	מאמץ <u>מותב</u> לחומר הבורג ¹⁷	$[\sigma_t]$

מסקנה "קנה הבורג עומד/אינו עומד בתנאי החוזק".

הערה: במידה וקנה הבורג **אינו עומד** בתנאי החוזק לפניכם שתי אפשרויות:

- ✧ החלפת חומר הבורג לחומר בעל דרגת חוזק גבוהה יותר.
- ✧ שינוי ממדי הבורג – בחירת בורג בעל קוטר קנה גדול יותר.

¹⁷ נתונה דרגת חוזק ומקדם בטחון S – הוציאו מטבלה 3 (תקן Din 898) מאמץ כניעה וחשבו את המאמץ המותר לחומר הבורג

דרגת חוזק דרושה לחומר הבורג

(1) בצעו שלבים ① עד ⑤ בעמידת קנה הבורג בתנאי החוזק.

(2) מאמץ כניעה דרוש לחומר הבורג

$$\sigma_y = S \cdot \sigma_e$$

σ_y מאמץ כניעה מזערי דרוש לחומר הבורג MPa

σ_e מאמץ שקול מתפתח בקנה הבורג MPa

S מקדם בטחון (Safety factor)

לא נתון, הנח: $S = 2.5$

(3) בחרו מטבלה 3 (תקן Din 898) דרגת חוזק בעלת מאמץ כניעה שווה או גדול מתוצאת סעיף 2.

"דרגת חוזק ..."

כוח צירי מרבי מותר לבורג

(1) בצעו שלבים ① עד ⑤ בעמידת קנה הבורג בתנאי החוזק בכל סעיף בו נדרש לחשב מאמץ רשמו ביטוי

תלוי כוח צירי Q .

(2) השוו את הביטוי המתקבל בסעיף ⑤ למאמץ המותר לחומר הבורג¹⁸

(3) חשבו כוח צירי מרבי מותר לחומר הבורג $[Q]$.

¹⁸ נתונה דרגת חוזק ומקדם בטחון S – הוצא מטבלה 3 (תקן Din 898) מאמץ כניעה וחשב את המאמץ המותר לחומר הבורג.

מומנט הידוק נדרש

(1) הוציאו נתוני תברג מטבלה 2 (Din 13)

$$\begin{aligned} d &= \text{mm} \\ p &= \text{mm} \\ d_1 &= \text{mm} \\ d_2 &= \text{mm} \end{aligned}$$

(2) חישוב זוויות
זווית מעלה

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2} \right)$$

$$\begin{aligned} \gamma & \text{ זווית מעלה} \\ p & \text{ פסיעת התברג} \\ d_2 & \text{ קוטר תברג ממוצע (אפקטיבי)} \end{aligned}$$

זווית חיכוך מתוקנת

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{\mu}{\cos 30^\circ} \right)$$

$$\begin{aligned} \varphi' & \text{ זווית חיכוך מתוקנת} \\ \mu & \text{ מקדם חיכוך בין } \underline{\text{משטחי התברג}} \end{aligned}$$

תנאי נעילה עצמית

$$\gamma \leq \varphi'$$

$$\begin{aligned} \gamma & \text{ זווית מעלה} \\ \varphi' & \text{ זווית חיכוך מתוקנת} \end{aligned}$$

מומנט הידוק דרוש – המשך מעמוד קודם (3) מומנט הידוק כולל

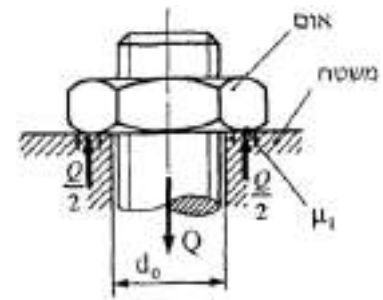
הערה: לא ייתכן מצב בו גם האום וגם קצה הבורג נוגעים במשטח המהודק.

הידוק האום על משטח

$$M_{tot} = \frac{Q \cdot d_2 \cdot [\tan(\gamma + \varphi') + 1.44 \cdot \mu_1]}{2}$$

Nmm	מומנט כולל הדרוש להידוק בורג	M_{tot}
N	כוח צירי הפועל בקנה הבורג	Q
mm	קוטר תבריג ממוצע (אפקטיבי)	d_2
°	זווית מעלה	γ
°	זווית חיכוך מתוקנת	φ'
	מקדם חיכוך בין האום למשטח המהודק	μ_1

לא נתון, הנח: $\mu_1 = \mu$

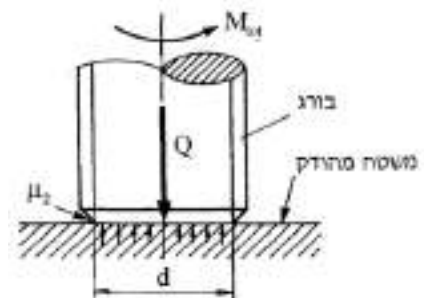


הידוק באמצעות קצה הבורג

$$M_{tot} = \frac{Q \cdot d_2 \cdot [\tan(\gamma + \varphi') + 0.73 \cdot \mu_2]}{2}$$

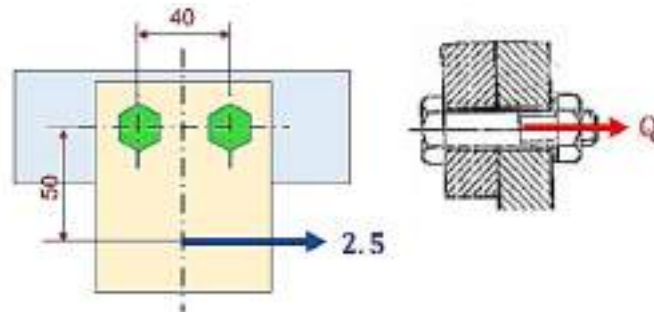
Nmm	מומנט כולל הדרוש להידוק בורג	M_{tot}
N	כוח צירי הפועל בקנה הבורג	Q
mm	קוטר תבריג ממוצע (אפקטיבי)	d_2
°	זווית מעלה	γ
°	זווית חיכוך מתוקנת	φ'
	מקדם חיכוך בין קצה הבורג לגוף	μ_2

לא נתון, הנח: $\mu_2 = \mu$



דוגמה 6

חלקים ① ו-② מהודקים באמצעות שני ברגי הידוק. על המחבר מופעל כוח 2.5 kN.



נתונים:

$$[\sigma_t] = 168 \text{ MPa}$$

$$f_k = 1.2$$

$$\mu_o = 0.2$$

$$\mu_1 = 0.18$$

$$\mu = 0.15$$

מאמץ מותר לחומר הבורג

מקדם מניעת ההחלקה בין החלקים המהודקים

מקדם חיכוך בין החלקים המהודקים (① ו-②)

מקדם חיכוך בין האום למשטח

מקדם חיכוך בין משטחי התבריג

דרוש:

א. כוח הידוק צירי Q הנדרש בכל בורג.

ב. בחרו בורג לחיבור המקבץ.

ג. מומנט הידוק נדרש לסגירת האומים.

פתרון דוגמה 6

א. כוח הידוק צירי Q הנדרש בכל בורג.
מקרה ⑦ בסעיף כוח צירי נדרש בקנה בורג בודד

כוח צירי נדרש למניעת החלקת הלוחות זה ביחס לזה

$$Q_f = \frac{F \cdot f_k}{i_c \cdot n_i \cdot \mu_o} = \frac{2500 \cdot 1.2}{2 \cdot 1 \cdot 0.2} = 7500 \text{ N}$$

כוח צירי נדרש למניעת סיבוב הלוחות זה ביחס לזה

$$Q_M = M_t \cdot \frac{f_k \cdot r_i}{n_i \cdot \mu_o \cdot \Sigma r_i^2}$$

$$M_t = 2500 \cdot 50 = 125000 \text{ Nmm}$$

$$r_i = 20 \text{ mm}$$

$$\Sigma r_i^2 = 2 \cdot 20^2 = 800 \text{ mm}^2$$

$$Q_M = 125000 \cdot \frac{1.2 \cdot 20}{1 \cdot 0.2 \cdot 800} = 18750 \text{ N}$$

כוח צירי מורכב נדרש

$$Q = Q_f + Q_M = 7500 + 18750 = 26250 \text{ N}$$

ב. בחרו בורג לחיבור המקבץ.
(1) בחרו באחת משיטות החישוב:

$$A_{\min} = 1.25 \cdot \frac{Q}{[\sigma_t]} = 1.25 \cdot \frac{26250}{168} = 195.32 \text{ mm}^2$$

(2) מטבלה 2 (תקן Din 13) נבחר בורג M20.

(3) בדקו את עמידת קנה הבורג בתנאי החוזק למאמץ משולב.

א. הוציאו נתוני תברג מטבלה 2 (Din 13)

$$\begin{aligned} d &= 20 & \text{mm} \\ p &= 2.5 & \text{mm} \\ d_1 &= 16.933 & \text{mm} \\ d_2 &= 18.376 & \text{mm} \\ A_t &= 225 & \text{mm}^2 \end{aligned}$$

המשך בעמוד הבא

דוגמה 6 – המשך מעמוד קודם

ב. מאמץ מתיחה מתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_t = \frac{Q}{A_t} = \frac{26250}{225} = 117 \text{ MPa}$$

ג. זוויות תברג

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{2.5}{\pi \cdot 18.376} \right) = 2.48^\circ$$

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{\mu}{\cos 30^\circ} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0.15}{\cos 30^\circ} \right) = 9.92^\circ$$

תנאי נעילה עצמית

$$\gamma = 2.48^\circ < \varphi' = 9.92^\circ$$

מתקיים

ד. מאמץ פיתול מתפתח בקנה הבורג

$$\tau_t = \frac{8 \cdot Q \cdot d_2 \cdot \tan(\gamma + \varphi')}{\pi \cdot d_1^3} = \frac{8 \cdot 26250 \cdot 18.376 \cdot \tan(2.48^\circ + 9.92^\circ)}{\pi \cdot 16.933^3} = 56 \text{ MPa}$$

ה. מאמץ מורכב המתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2} = \sqrt{117^2 + 3 \cdot 56^2} = 152 \text{ MPa}$$

ו. תנאי חוזק

$$\sigma_e = 152 \text{ MPa} < [\sigma_t] = 168 \text{ MPa}$$

מסקנה "קנה הבורג עומד בתנאי החוזק".

המשך בעמוד הבא

דוגמה 6 – המשך מעמוד קודם

ג. מומנט הידוק נדרש לסגירת האומים.

(1) הוציאו נתוני תבריג מטבלה 2 (Din 13)

$$\begin{aligned} d &= 20 \text{ mm} \\ p &= 2.5 \text{ mm} \\ d_1 &= 16.933 \text{ mm} \\ d_2 &= 18.376 \text{ mm} \end{aligned}$$

(2) בדקו תנאי נעילה עצמית

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{2.5}{\pi \cdot 18.376} \right) = 2.48^\circ$$

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{\mu}{\cos 30^\circ} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0.15}{\cos 30^\circ} \right) = 9.92^\circ$$

תנאי נעילה עצמית

$$\gamma = 2.48^\circ < \varphi' = 9.92^\circ$$

מתקיים

(3) מומנט הידוק כולל

$$M_{\text{tot}} = \frac{Q \cdot d_2 \cdot [\tan(\gamma + \varphi') + 1.44 \cdot \mu_1]}{2} = \frac{26250 \cdot 18.376 \cdot [\tan(2.48^\circ + 9.92^\circ) + 1.44 \cdot 0.18]}{2}$$

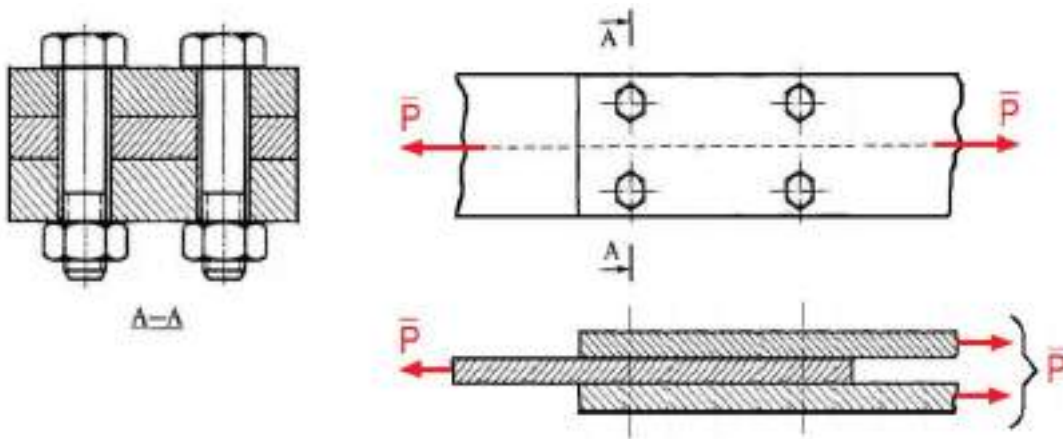
$$M_{\text{tot}} = 13130 \text{ Nmm}$$

דוגמה 7

באיור לשאלה מוצג חיבור בין שלושה לוחות באמצעות ארבעה ברגים תקניים M20. על המחבר פועל כוח P באופן המוצג באיור לשאלה.

נתונים:

5.8	דרגת חוזק
$S = 2.25$	מקדם בטחון
$\mu = 0.12$	מקדם חיכוך בין הבורג והאום
$\mu_o = 0.25$	מקדם חיכוך בין הלוח לבסיס
$f_k = 1.5$	מקדם אבטחה מפני החלקה



דרוש:

- מהו הכוח הצירי Q שמותר להפעיל על כל אחד מברגי המחבר?
- בהתאם לתוצאת חישוב סעיף א', מהו הכוח P המרבי שאותו מותר להפעיל על המחבר?
- מהו מומנט הידוק הברגים הדרוש לסגירת הברגים, במקרה של הפעלת הכוח המרבי Q שחושב בסעיף א'?

פתרון דוגמה 7

א. מהו הכוח הצירי Q שאותו מותר להפעיל על כל אחד מברגי המחרב ?

1. נתוני תבריג מטבלה 2

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$p = 2.5 \text{ mm}$$

$$d_1 = 16.993 \text{ mm}$$

$$d_2 = 18.376 \text{ mm}$$

2. מאמץ מתיחה מתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_t = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_1^2} = \frac{4}{\pi \cdot 16.993^2} \cdot Q = 0.0045 \cdot Q$$

3. זווית תבריג

זווית מעלה

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{2.5}{\pi \cdot 18.376} \right) = 2.48^\circ$$

זווית חיכוך מתוקנת

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{\mu}{\cos \alpha} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0.12}{\cos 30^\circ} \right) = 7.9^\circ$$

תנאי נעילה עצמית

$$\gamma \leq \varphi'$$

מסקנה: מתקיים תנאי נעילה עצמית.

4. מאמץ פיתול מתפתח בקנה הבורג

$$\tau_t = \frac{8 \cdot Q \cdot d_2 \cdot \tan(\gamma + \varphi')}{\pi \cdot d_1^3} = \frac{8 \cdot 18.376 \cdot \tan(2.48^\circ + 7.9^\circ)}{\pi \cdot d_1^3} \cdot Q = 0.00177 \cdot Q$$

5. מאמץ מורכב מתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2} = \sqrt{(0.0045 \cdot Q)^2 + 3 \cdot (0.00177 \cdot Q)^2}$$

המשך העמוד הבא

דוגמה 7 – המשך מעמוד קודם

6. מאמץ מותר לחומר הבורג

$$[\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{S} = \frac{420}{2.25} \cong 187 \text{ MPa}$$

7. כוח צירי מרבי מותר לחומר הבורג $[Q]$

$$\sqrt{(0.0045 \cdot Q)^2 + 3 \cdot (0.00177 \cdot Q)^2} = 187$$

$$[Q] \cong 34345 \text{ N}$$

ב. בהתאם לתוצאת חישוב סעיף א', מהו הכוח P המרבי שאותו מותר להפעיל על המחבר, ?

$$Q = \frac{F \cdot f_k}{i_c \cdot n_i \cdot \mu_o}$$

$$34345 = \frac{P \cdot 1.5}{4 \cdot 2 \cdot 0.25}$$

$$P \cong 45795 \text{ N}$$

ג. מהו מומנט הידוק הברגים הדרוש במקרה של הפעלת הכוח המרבי Q שחושב בסעיף א' ?

$$M_{\text{tot}} = \frac{Q \cdot d_2 \cdot [\tan(\gamma + \varphi') + 1.44 \cdot \mu_1]}{2} = \frac{34345 \cdot 18.376 \cdot [\tan(2.48^\circ + 7.9^\circ) + 1.44 \cdot 0.12]}{2}$$

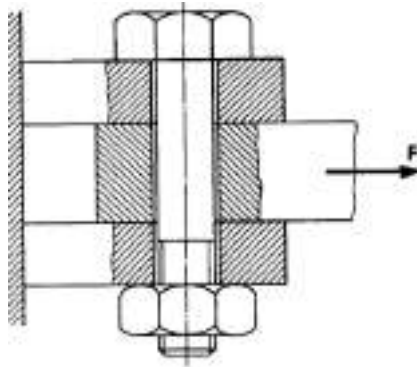
$$M_{\text{tot}} = 112332 \text{ Nmm}$$

דוגמה 8

על המבנה המתואר המחובר באמצעות **בורג בודד** פועל כוח $F = 10000 \text{ N}$.

נתונים:

$[\sigma_t] = 140 \text{ MPa}$	מאמץ מותר בקנה הבורג
$[\tau_s] = 80 \text{ MPa}$	מאמץ מותר לגזירה לחומר שיני התברג
$\mu = 0.15$	מקדם חיכוך בין הבורג והאום
$\mu_o = 0.25$	מקדם חיכוך בין הלוח לבסיס
$f_k = 1.5$	מקדם אבטחה מפני החלקה



דרוש:

- קבעו את ממדי הבורג הדרוש.
- מהו מומנט ההידוק הדרוש?
- חשבו את גובה ראש בורג הדרוש.

פתרון דוגמה 8

א. קבעו את ממדי הבורג הדרוש.

$$A_{\min} = 1.25 \cdot \frac{Q}{[\sigma_t]}$$

$$Q = \frac{F \cdot f_k}{i \cdot n_i \cdot \mu_o} = \frac{10000 \cdot 1.5}{1 \cdot 3 \cdot 0.25} = 20000 \text{ N}$$

$$A_{\min} = 1.25 \cdot \frac{20000}{140} = 178.6 \text{ mm}^2$$

מטבלה 2 (תקן Din 13) נבחר בורג M20.

בדיקת בורג נבחר:

(1) השלמת נתוני תברג מטבלה 2 (Din 13)

$$\begin{aligned} d &= 20 \text{ mm} \\ p &= 2.5 \text{ mm} \\ d_1 &= 16.933 \text{ mm} \\ d_2 &= 18.376 \text{ mm} \\ A_t &= 225 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(2) מאמץ מתיחה מתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_t = \frac{Q}{A_t} = \frac{20000}{225} \cong 90 \text{ MPa}$$

(3) זוויות תברג

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{2.5}{\pi \cdot 18.376} \right) = 2.48^\circ$$

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{\mu}{\cos 30^\circ} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0.15}{\cos 30^\circ} \right) = 9.92^\circ$$

תנאי נעילה עצמית

$$\gamma = 2.48^\circ < \varphi' = 9.92^\circ$$

מתקיים

המשך בעמוד הבא

דוגמה 8 – המשך מעמוד קודם

(4) מאמץ פיתול מתפתח בקנה הבורג

$$\tau_t = \frac{8 \cdot Q \cdot d_2 \cdot \tan(\gamma + \varphi')}{\pi \cdot d_1^3} = \frac{8 \cdot 20000 \cdot 18.376 \cdot \tan(2.48^\circ + 9.92^\circ)}{\pi \cdot 16.933^3} = 42.5 \text{ MPa}$$

(5) מאמץ משולב מתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2} = \sqrt{90^2 + 3 \cdot 42.5^2} = 116 \text{ MPa}$$

(6) תנאי חוזק

$$\sigma_e = 116 \text{ MPa} < [\sigma_t] = 140 \text{ MPa}$$

מסקנה "קנה הבורג עומד בתנאי החוזק".

ב. מהו מומנט ההידוק הדרוש?

(1) הוצא נתוני תברג (Din 13)

d	=	20	mm
p	=	2.5	mm
d ₁	=	16.933	mm
d ₂	=	18.376	mm
A _t	=	225	mm ²

(2) זוויות תברג

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{2.5}{\pi \cdot 18.376} \right) = 2.48^\circ$$

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{\mu}{\cos 30^\circ} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0.15}{\cos 30^\circ} \right) = 9.92^\circ$$

תנאי נעילה עצמית

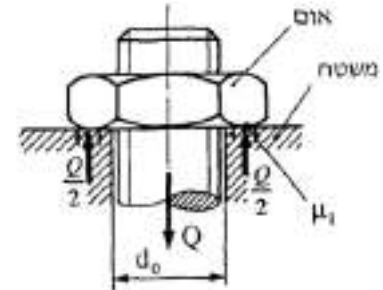
$$\gamma = 2.48^\circ < \varphi' = 9.92^\circ$$

מתקיים

דוגמה 8 – המשך מעמוד קודם

(3) מומנט הידוק כולל

הידוק האום על משטח



ג. חשבו את גובה ראש בורג הדרוש.

(1) השלימו נתוני תבריג (Din 13)

$$\begin{aligned} d &= 20 \text{ mm} \\ p &= 2.5 \text{ mm} \\ d_1 &= 16.933 \text{ mm} \\ d_2 &= 18.376 \text{ mm} \end{aligned}$$

(2) בהתאם לנתוני התרגיל, חשבו מספר שיני תבריג דרוש לפי תנאי החוזק

$$n_s = \frac{Q}{0.85 \cdot [\tau_s] \cdot \pi \cdot d \cdot p} = \frac{20000}{0.85 \cdot 80 \cdot \pi \cdot 20 \cdot 2.5} = 2$$

(3) **בחרו** במספר הכריכות הגדול ביותר – $n_{\max} = 2$.

(4) גובה אום מזערי דרוש

$$H_{\min} = n_{\max} \cdot p = 2 \cdot 2.5 = 5 \text{ mm}$$

דוגמה 9

באיור לשאלה מתואר חיבור בין הלוח המרכזי, ① ובין שני לוחות, ② באמצעות שני ברגי הידוק M24. הברגים נסגרים במומנט הידוק הגורם ליצירת כוח הידוק צירי $Q = 40 \text{ kN}$.

נתונים:

הבורג עשוי מחובר בעל דרגת חוזק 4.8
מקדם חיכוך בין משטחי הבורג והתברג $\mu = 0.15$
מקדם חיכוך בין הלוחות $\mu_o = 0.2$
מקדם אבטחה מפני החלקה $f_k = 1.2$

דרוש: חשבו את מקדם הבטחון S הקיים בתכנון הבורג (חשבו למאמץ מורכב בבורג).

פתרון דוגמה 9

חשבו את המאמץ המשולב המתפתח בקנה הבורג.

(1) השלימו נתוני תברג מטבלה 2 (Din 13)

$$\begin{aligned} d &= 24 \text{ mm} \\ p &= 3 \text{ mm} \\ d_1 &= 25.706 \text{ mm} \\ d_2 &= 27.727 \text{ mm} \\ A_t &= 519 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(2) מאמץ **מתיחה** מתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_t = \frac{Q}{A_t} = \frac{40000}{519} = 77 \text{ MPa}$$

דוגמה 9 המשך מעמוד קודם

(3) זוויות תברייג

זווית מעלה

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{3}{\pi \cdot 27.727} \right) = 1.973^\circ$$

זווית חיכוך מתוקנת

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{\mu}{\cos 30^\circ} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0.15}{\cos 30^\circ} \right) = 9.83^\circ$$

תנאי נעילה עצמית

$$\gamma = 1.973^\circ < \varphi' = 9.83^\circ$$

מסקנה: מתקיים תנאי נעילה עצמית.

(4) מאמץ פיתול מתפתח בקנה הבורג

$$\tau_t = \frac{8 \cdot Q \cdot d_2 \cdot \tan(\gamma + \varphi')}{\pi \cdot d_1^3} = \frac{8 \cdot 40000 \cdot 27.727 \cdot \tan(1.973^\circ + 9.83^\circ)}{\pi \cdot 25.706^3} \cong 35 \text{ MPa}$$

(5) מאמץ משולב מתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2} = \sqrt{77^2 + 3 \cdot 35^2} = 98 \text{ MPa}$$

(6) מאמץ כניעה של חומר הבורג

$$\sigma_y = 340 \text{ MPa}$$

(7) מקדם בטחון תכנוני

$$[\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{S}$$

$$[\sigma_t] = \sigma_e = 98 \text{ MPa}$$

$$98 = \frac{340}{S}$$

$$S = 3.47$$

עמידת שיני האום בתנאי החוזק

(1) השלימו נתוני תברג מטבלה 2 (Din 13)

d	=	mm
p	=	mm
d ₁	=	mm
d ₂	=	mm

(2) מספר כריכות פעילות של התברג

$$n = \frac{H}{p}$$

n	מספר כריכות תברג <u>פעילות</u>
H	גובה אום / אורך תברג
p	<u>פסיעת התברג</u>

(3) בהתאם לנתוני התרגיל, בדקו את עמידת האום בתנאי החוזק

תנאי חוזק	מאמץ מותר	
$\tau_s = \frac{Q}{0.85 \cdot n \cdot \pi \cdot d \cdot p} \leq [\tau_s]$	$[\tau_s] = 0.6 \cdot [\sigma_t]$	גזירה
$p = \frac{Q}{n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - d_1^2)} \leq [p]$	$[p] = 1.8 \cdot [\sigma_t]$	לחץ מגע

MPa	מאמץ <u>מותב</u> לגזירה לחומר האום	$[\tau_s]$
MPa	מאמץ <u>מותב</u> למתיחה לחומר האום	$[\sigma_t]$
MPa	<u>לחץ מגע מותב</u> לחומר האום	$[p]$
MPa	מאמץ גזירה <u>מתפתח</u> בשיני התברג	τ_s
MPa	לחץ מגע <u>מתפתח</u> בשיני התברג	p
N	כוח צירי הפועל בקנה הבורג	Q
	מספר כריכות תברג <u>פעילות</u>	n
mm	קוטר חיצוני של הבורג	d
mm	<u>פסיעת התברג</u>	p
mm	קוטר קנה בורג (קוטר פנימי)	d ₁

גובה אום מזערי

(1) השלימו נתוני תבריק

d	=	mm
p	=	mm
d_1	=	mm
d_2	=	mm

(2) בהתאם לנתוני התרגיל, חשבו מספר שיני תבריק דרוש לפי תנאי החוזק

מספר כריכות	מאמץ מותר	
$n_s = \frac{Q}{0.85 \cdot [\tau_s] \cdot \pi \cdot d \cdot p}$	$[\tau_s] = 0.6 \cdot [\sigma_t]$	גזירה
$n_p = \frac{Q}{[p] \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - d_1^2)}$	$[p] = 1.8 \cdot [\sigma_t]$	לחץ מגע

MPa	מאמץ מותר לגזירה לחומר האום	$[\tau_s]$
MPa	מאמץ מותר למתיחה לחומר האום	$[\sigma_t]$
MPa	לחץ מגע מותר לחומר האום	$[p]$
N	כוח צירי הפועל בקנה הבורג	Q
	מספר כריכות תבריק פעילות	n
mm	קוטר חיצוני של הבורג	d
mm	פסיעת התבריק	p
mm	קוטר קנה בורג (קוטר פנימי)	d_1

(3) בחרו במספר הכריכות הגדול ביותר – n_{max} .

(4) חשבו גובה אום מזערי דרוש

$$H_{min} = n_{max} \cdot p$$

	מספר כריכות תבריק פעילות	n
mm	גובה אום מינימלי	H_{min}
mm	פסיעת התבריק	p

6. בְּרִגֵי הַנָּעָה (ברגי כוח)

משמשים במערכות מכניות לצורך הנעת חלקים בתנועה קווית, כאשר הבורג מסתובב עקב הפעלת מומנט סיבוב עליו. ברגים אלו משמשים במכלולים מסוגים שונים, כגון מערכות הרמה, מערכות הינע לתנועה קווית של מכונות שיבוב ועוד.

ברגי הנעה שבאופיים הם ארוכים יחסית ("גוף ארוך ודק" – אורכם גדול מאוד ביחס לקוטר קנה הבורג), עלינו לבדוק תחילה את עמידתם בתנאי החוזק לקריסה.

בקנה הבורג מתפתחים מאמצי מתיחה/לחיצה ופיתול, לכן יש לבדוק בדומה לברגי הידוק את עמידת קנה הבורג בתנאי החוזק למאמץ מורכב.

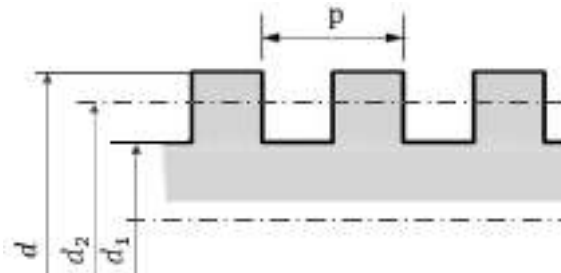
ברגים אלה מאופיינים בתנועה יחסית מתמשכת בין התברג החיצוני של הבורג לתברג הפנימי באום. בתנועה זו מחליק הבורג בתוך תברג האום, החלקה הגורמת לשחיקת משטחי המגע. כדי להבטיח אורך חיים סביר ולמנוע בלאי מהיר של התברגים, מגבילים את **לחץ המגע** (מאמץ מעיכה) בשיני התברג.

טבלה 4 – תברג ריבועי

קוטר פנימי $d_1 = d - p$

קוטר ממוצע $d_2 = \frac{d + d_1}{2}$

חצי זווית פרופיל שן $\alpha = 0^\circ$
מקדם עובי בסיס השן $k = 0.5$

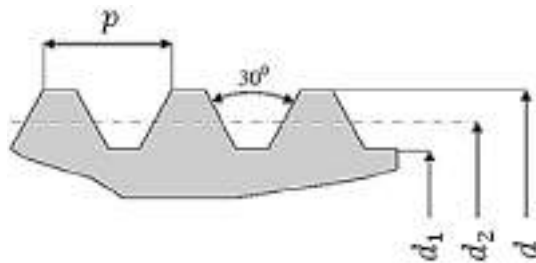


פסיעה – p [mm]			קוטר חיצוני – d [mm]
גדולה	רגילה	עדינה	
---	3	2	10; 12; 14
---	4	2	16; 18; (19); 20
8	5	2	22; 24; 26; 28
10	6	3	30; 32; (34); 36; (38); 40; (42)
12	8	3	44; (46); 48; 50; 52; 55; (58); 60
16	10	4	(62); 65; (68); 70; (72); 75; (78); 80; (82)

הערות:

1. המידות שבסוגריים קיימות אך הן בעדיפות שנייה.
2. המידות המחושבות **אינן ממדיקות** ונשתמש בהן בתברגים בהם אין לנו טבלת תקן.
3. במידה ומידות הבורג נתונות יש לעבוד איתן – **גם אם אינן תקניות** – ולא לחשב לפי מידות התקן.

טבלה 5 – תברג טרפזי סימטרי (Din 103)



$$d_1 = d - p$$

קוטר פנימי

$$d_2 = \frac{d + d_1}{2}$$

קוטר ממוצע

$$\alpha = 15^\circ$$

חצי זווית פרופיל שן

$$k = 0.65$$

מקדם עובי בסיס השן

d_2 [mm]	d_1 [mm]	פסיעה - p [mm]			d [mm]
		גדולה	רגילה	עדינה	
9.0	8.0			2	10
8.5	7.0		3		
11.0	10.0		3	2	12
10.5	9.0		3		
13.0	12.0		3	2	(14)
12.5	11.0		3		
15.0	14.0		4	2	16
14.0	12.0		4		
17.0	16.0		4	2	(18)
16.0	14.0		4		
19.0	18.0		4	2	20
18.0	16.0		4		
20.5	19.0		5	3	(22)
19.5	17.0		5		
18.0	14.0	8			
22.5	21.0		5	3	24
21.5	19.0		5		
20.0	16.0	8			
26.5	25.0		5	3	28
25.5	23.0		5		
24.0	20.0	8			
28.5	27.0		6	3	(30)
27.0	24.0		6		
25.0	20.0	10			

$d_2[mm]$	$d_1[mm]$	פסיעה – p [mm]			d [mm]
		גדולה	רגילה	עדינה	
30.5	29.0			3	32
29.0	26.0		6		
27.0	22.0	10			
34.5	33.0			3	36
33.0	30.0		6		
31.0	26.0	10			
38.5	37.0			3	40
36.5	33.0		7		
35.0	30.0	10			
42.5	41.0			3	44
40.5	37.0		7		
38.0	32.0	12			
46.5	45.0			3	48
44.5	41.0		7		
37.0	36.0	12			
45.5	49.0			3	52
48.0	43.0		8		
46.0	40.0	12			
58.5	57.0			3	60
55.5	51.0		9		
53.0	46.0	14			

הערות:

1. המידות שבסוגריים קיימות אך הן בעדיפות שנייה.
2. המידות המחושבות **אינן ממדיקות** ונשתמש בהן בתברגים בהם אין לנו טבלת תקן.
3. במידה ומידות הבורג נתונות יש לעבוד איתן – **גם אם אינן תקניות** – ולא לחשב לפי מידות התקן.

התאמת הבורג לתנאי העבודה

נתון: בורג הנעה / הרמה בעל ממדים ידועים, עליו פועל כוח צירי Q .

דרוש: לבדוק את התאמת הבורג / האום לתנאי העבודה.

שלב 1 – עמידת הבורג בתנאי היציבות לקריסה

תנאי לבדיקה: הכוח הצירי Q גורם להתפתחות מאמצי לחיצה בקנה הבורג.

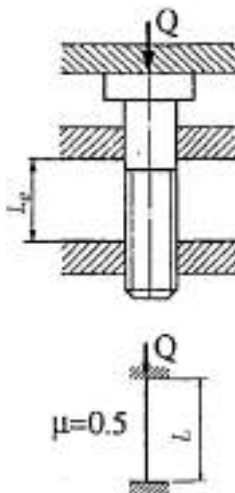
א. השלימו את נתוני תבריג

d = mm
 p = mm
 d_1 = mm
 d_2 = mm

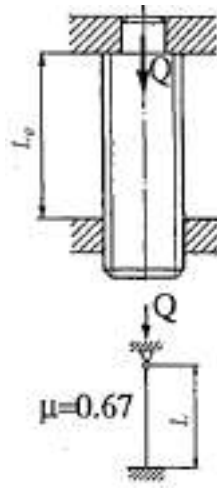
ב. חשבו אורך קריסה L_e

$$L_e = \mu \cdot L$$

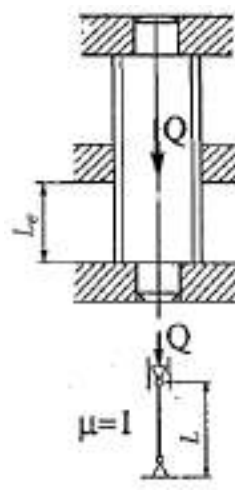
רתום בשני קצוות



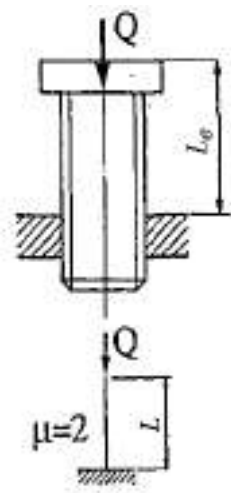
קצה רתום וקצה עם פרק



פרקים בשני הקצוות



קצה רתום וקצה חופשי



ג. חשבו תמירות (גבהות) בורג (הוכחה כי מתקיים התנאי "גוף ארוך ודק").

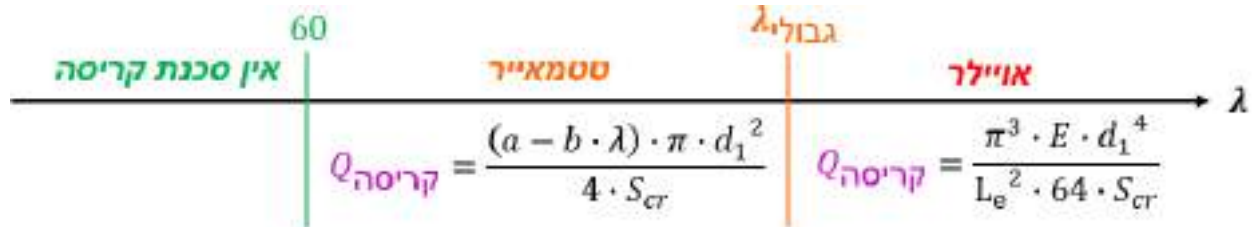
$$\lambda = \frac{L_e}{0.25 \cdot d_1}$$

λ תמירות הבורג
 L_e אורך קריסה mm
 d_1 קוטר קנה הבורג mm

המשך בעמוד הבא

התאמת הבורג לתנאי העבודה – המשך מעמוד קודם

ד. בהתאם לתוצאת התמירות חשבו כוח קריסה קריטי



			חומר	MPa	E מודול אלסטיות
					פלדה: E = 200000 MPa
b [MPa]	a [MPa]	λ _{גבולי}		N	Q _{קריסה} כוח לחיצה צירי מרב הגורם לקריסה
1.14	310	100	פלדה דלת פחמן	N	Q כוח צירי הפועל בבורג
3.82	589	85	פלדת מסג	mm	d ₁ קוטר קנה הבורג
				mm	L _e אורך קריסה
					λ תמירות הבורג
					λ _{גבולי} תמירות גבולית
					S _{cr} מקדם יציבות בקריסה
					לא נתון, הנח: S _{cr} = 4

ה. תנאי יציבות בקריסה $Q \geq Q_{קריסה}$
מסקנה "קנה הבורג עומד/אינו עומד בתנאי היציבות לקריסה".

התאמת הבורג לתנאי העבודה – המשך מעמוד קודם

שלב 2 – עמידת הבורג בתנאי החוזק למאמץ מורכב

ו. חשבו שטח קנה בורג

$$A_t = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2$$

A_t שטח קנה בורג mm^2
 d_1 קוטר קנה בורג (קוטר פנימי) mm

ז. מאמץ מתיחה מתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_t = \frac{Q}{A_t}$$

σ_t מאמץ מתיחה מתפתח בקנה הבורג MPa
 Q כוח צירי הפועל בקנה הבורג N
 A_t שטח קנה בורג (תוצאת סעיף א') mm^2

ח. זוויות תבריג
 זווית מעלה

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2} \right)$$

γ זווית מעלה $^\circ$
 p פסיעת התבריג mm
 d_2 קוטר תבריג ממוצע (אפקטיבי) mm

זווית חיכוך מתוקנת

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{\mu}{\cos \alpha^\circ} \right)$$

φ' זווית חיכוך מתוקנת $^\circ$
 μ מקדם חיכוך בין משטחי התבריג

תנאי נעילה עצמית

סוג תבריג	חצי זווית פרופיל שן α
ריבוע	0°
טרפז	15°
משולש	30°

$$\gamma \leq \varphi'$$

γ זווית מעלה $^\circ$
 φ' זווית חיכוך מתוקנת $^\circ$

התאמת הבורג לתנאי העבודה – המשך מעמוד קודם

ט. מאמץ פיתול מתפתח בקנה הבורג

$$\tau_t = \frac{8 \cdot Q \cdot d_2 \cdot \tan(\gamma + \varphi')}{\pi \cdot d_1^3}$$

MPa	מאמץ פיתול מתפתח בקנה הבורג	τ_t
N	כוח צירי הפועל בקנה הבורג	Q
mm	קוטר תבריג ממוצע (אפקטיבי)	d_2
mm	קוטר קנה בורג (קוטר פנימי)	d_1
°	זווית מעלה	γ
°	זווית חיכוך מתוקנת	φ'

י. מאמץ מורכב מתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2}$$

MPa	מאמץ מורכב מתפתח בקנה הבורג	σ_e
MPa	מאמץ מתיחה מתפתח בקנה הבורג	σ_t
MPa	מאמץ פיתול מתפתח בקנה הבורג	τ_t

יא. תנאי חוזק

$$\sigma_e \leq [\sigma_t]$$

MPa	מאמץ מורכב מתפתח בקנה הבורג	σ_e
MPa	מאמץ <u>מותב</u> לחומר הבורג ¹⁹	$[\sigma_t]$

מסקנה "קנה הבורג עומד/אינו עומד בתנאי החוזק".

הערה: במידה וקנה הבורג אינו עומד בתנאי החוזק לפניהם שתי אפשרויות:

- ✧ החלפת חומר הבורג לחומר בעל דרגת חוזק גבוהה יותר.
- ✧ שינוי ממדי הבורג – בחירת בורג בעל קוטר קנה גדול יותר.

¹⁹ נתונה דרגת חוזק ומקדם בטחון S – הוציאו מטבלה 3 (תקן Din 898) מאמץ כניעה וחשבו את המאמץ המותר לחומר הבורג

התאמת הבורג לתנאי העבודה – המשך מעמוד קודם

שלב 3 – בדיקת / תכנון אום הבורג

בדיקת אום הבורג לעמידה בדרישות החוזק

יב. חשבו מספר כריכות פעילות של התבריג

$$n = \frac{H}{p}$$

n מספר כריכות תבריג פעילות
 H גובה אום / אורך תבריג mm
 p פסיעת התבריג mm

יג. בהתאם לנתוני התרגיל, בדקו את עמידת האום בתנאי החוזק

תנאי חוזק	מאמץ מותר	
$\tau_s = \frac{Q}{k \cdot n \cdot \pi \cdot d \cdot p} \leq [\tau_s]$	$[\tau_s] = 0.6 \cdot [\sigma_t]$	גזירה
$p = \frac{Q}{n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - d_1^2)} \leq [p]$	$[p] = 1.8 \cdot [\sigma_t]$	לחץ מגע

$[\tau_s]$ מאמץ מותב לגזירה לחומר האום MPa
 $[\sigma_t]$ מאמץ מותב למתיחה לחומר האום MPa
 $[p]$ לחץ מגע מותב לחומר האום MPa
 τ_s מאמץ גזירה מתפתח בשיני התבריג MPa
 p לחץ מגע מתפתח בשיני התבריג MPa
 Q כוח צירי הפועל בקנה הבורג N
 n מספר כריכות תבריג פעילות
 k מקדם עובי בסיס שן
 d קוטר חיצוני של הבורג mm
 p פסיעת התבריג mm
 d_1 קוטר קנה בורג (קוטר פנימי) mm

k	סוג תבריג
0.5	ריבוע
0.65	טרפז
0.85	משולש

התאמת הבורג לתנאי העבודה – המשך מעמוד קודם

תכנון אום הבורג

יד. בהתאם לנתוני התרגיל, חשבו מספר שיני תברייג דרוש לפי תנאי החוזק

מספר כריכות	מאמץ מותר	
$n_s = \frac{Q}{k \cdot [\tau_s] \cdot \pi \cdot d \cdot p}$	$[\tau_s] = 0.6 \cdot [\sigma_t]$	גזירה
$n_p = \frac{Q}{[p] \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - d_1^2)}$	$[p] = 1.8 \cdot [\sigma_t]$	לחץ מגע

MPa	מאמץ <u>מותר</u> לגזירה לחומר האום	$[\tau_s]$
MPa	מאמץ <u>מותר</u> למתיחה לחומר האום	$[\sigma_t]$
MPa	<u>לחץ מגע מותר</u> לחומר האום	$[p]$
N	כוח צירי הפועל בקנה הבורג	Q
	מספר כריכות תברייג <u>פעילות</u>	n
	מקדם עובי בסיס שן	k
mm	קוטר חיצוני של הבורג	d
mm	<u>פסיעת התברייג</u>	p
mm	קוטר קנה בורג (קוטר פנימי)	d_1

k	סוג תברייג
0.5	ריבוע
0.65	טרפז
0.85	משולש

טו. בחרו במספר הכריכות הגדול ביותר – $n_{\max}$.

טז. חשבו גובה אום מזערי דרוש

$$H_{\min} = n_{\max} \cdot p$$

	מספר כריכות תברייג <u>פעילות</u>	n
mm	גובה אום מינימלי	$H_{\min}$
mm	<u>פסיעת התברייג</u>	p

בחירת בורג הנעה / הרמה

נתון: כוח צירי Q הפועל על הבורג.

דרוש: לבחור ממדי בורג, לבדוק / לתכנן גובה אום.

שלב 1 – קביעת ממדי תבריג לפי תנאי היציבות לקריסה

הנחות:

* הכוח הצירי Q גורם להתפתחות מאמצי **לחיצה** בקנה הבורג (במידה והכוח הצירי Q, גורם להתפתחות מאמצי **מתיחה** יחושב קוטר קנה הבורג לפני **קביעת קוטר בורג לפי תנאי חוזק למאמץ מורכב**).

* תמירות הבורג **גדולה** מהתמירות הגבולית המותרת.

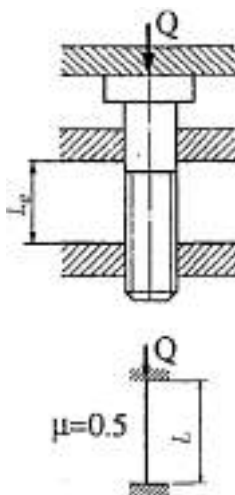
$$\lambda > \lambda_{\text{גבולי}}$$

λ תמירות הבורג
 $\lambda_{\text{גבולי}}$ תמירות גבולית

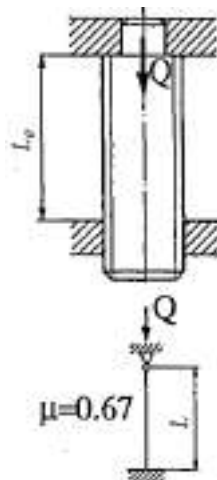
א. חשבו אורך קריסה – L_e

$$L_e = \mu \cdot L$$

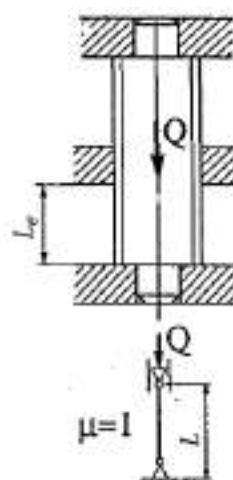
רתום בשני קצוות



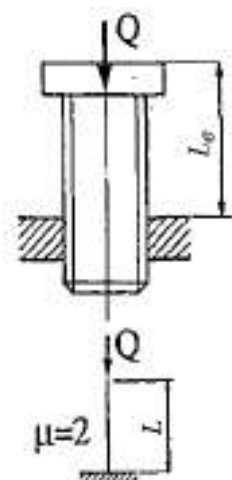
קצה רתום וקצה עם פרק



פרקים בשני הקצוות



קצה רתום וקצה חופשי



המשך בעמוד הבא

בחירת בורג הנעה / הרמה – המשך מעמוד קודם

ב. חשבו קוטר קנה בורג נדרש (לפי תנאי היציבות לקריסה)

$$d_{1min} = \left(\frac{Q \cdot L_e^2 \cdot 64 \cdot S_{cr}}{\pi^3 \cdot E} \right)^{\frac{1}{4}}$$

mm	קוטר קנה בורג (קוטר פנימי)	d_1
N	כוח צירי הפועל בבורג	Q
mm	אורך קריסה (שלב 1)	L_e
	מקדם יציבות בקריסה	S_{cr}
	לא נתון, הנח: $S_{cr} = 4$	
MPa	מודול אלסטיות	E
	פלדה: $E = 200000 \text{ MPa}$	

ג. קבעו ממדי תבריק (קוטר חיצוני, פסיעה, קוטר פנימי)

$$d_{min} = 1.2 \cdot d_{1min}$$

קוטר חיצוני מזער נדרש

$$d_1 = d - p \quad (\text{חפשו זוג מידות שהפרשם קרוב לקוטר הפנימי המחושב})$$

$$d_1 \geq d_{1min}$$

האם מתקיים התנאי

מתקיים = אלו ממדי הבורג הנדרשים

לא מתקיים = חזרו על הפעולות עד לקיום התנאי

ד. חשבו תמירות (גבהות) בורג (הוכחה כי מתקיים התנאי "גוף ארוך ודק").

$$\lambda = \frac{L_e}{0.25 \cdot d_1}$$

	תמירות הבורג	λ
mm	אורך קריסה (שלב 1)	L_e
mm	קוטר קנה הבורג	d_1

חומר	גבולי λ
פלדה דלת פחמן	100
פלדת מסג	85

המשך בעמוד הבא

בחירת בורג הנעה / הרמה – המשך מעמוד קודם

שלב 2 – עמידת קנה הבורג בתנאי החוזק למאמץ משולב

ה. בהתאם לפרופיל הבורג השלימו נתוני תבריג

d = mm
p = mm
d₁ = mm
d₂ = mm

ו. חשבו שטח קנה בורג

$$A_t = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2$$

A_t שטח קנה בורג mm²
d₁ קוטר קנה בורג (קוטר פנימי) mm

ז. מאמץ מתיחה מתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_t = \frac{Q}{A_t}$$

σ_t מאמץ מתיחה מתפתח בקנה הבורג MPa
Q כוח צירי הפועל בקנה הבורג N
A_t שטח קנה בורג (תוצאת סעיף א') mm²

המשך בעמוד הבא

בחירת בורג הנעה / הרמה – המשך מעמוד קודם

ח. זוויות תברייג
זווית מעלה

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2} \right)$$

°	זווית מעלה	γ
mm	פסיעת התברייג	p
mm	קוטר תברייג ממוצע (אפקטיבי)	d_2

זווית חיכוך מתוקנת

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{\mu}{\cos \alpha^\circ} \right)$$

°	זווית חיכוך מתוקנת	φ'
	מקדם חיכוך בין <u>משטחי התברייג</u>	μ

תנאי נעילה עצמית

סוג תברייג	חצי זווית פרופיל שן – α
ריבוע	0°
טרפז	15°
משולש	30°

$$\gamma \leq \varphi'$$

- ° זווית מעלה γ
- ° זווית חיכוך מתוקנת φ'

ט. מאמץ פיתול מתפתח בקנה הבורג

$$\tau_t = \frac{8 \cdot Q \cdot d_2 \cdot \tan(\gamma + \varphi')}{\pi \cdot d_1^3}$$

MPa	מאמץ פיתול מתפתח בקנה הבורג	τ_t
N	כוח צירי הפועל בקנה הבורג	Q
mm	קוטר תברייג ממוצע (אפקטיבי)	d_2
mm	קוטר קנה בורג (קוטר פנימי)	d_1
°	זווית מעלה	γ
°	זווית חיכוך מתוקנת	φ'

המשך בעמוד הבא

בחירת בורג הנעה / הרמה – המשך מעמוד קודם

י. מאמץ מורכב מתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2}$$

σ_e מאמץ מורכב מתפתח בקנה הבורג MPa
 σ_t מאמץ מתיחה מתפתח בקנה הבורג MPa
 τ_t מאמץ פיתול מתפתח בקנה הבורג MPa

יא. תנאי חוזק

$$\sigma_e \leq [\sigma_t]$$

σ_e מאמץ מורכב מתפתח בקנה הבורג MPa
 $[\sigma_t]$ מאמץ מותב לחומר הבורג²⁰ MPa

מסקנה "קנה הבורג עומד/אינו עומד בתנאי החוזק".

הערה: במידה וקנה הבורג אינו עומד בתנאי החוזק לפניכם שתי אפשרויות:

- ✧ החלפת חומר הבורג לחומר בעל דרגת חוזק גבוהה יותר.
- ✧ שינוי ממדי הבורג – בחירת בורג בעל קוטר קנה גדול יותר.

²⁰ נתונה דרגת חוזק ומקדם בטחון S – הוציאו מטבלה 3 (תקן 898 Din) מאמץ כניעה וחשבו את המאמץ המותר לחומר הבורג

שלב 3 – בדיקת / תכנון אום הבורג

בדיקת אום הבורג לעמידה בדרישות החוזק

יב. חשבו מספר כריכות פעילות של התברג

$$n = \frac{H}{p}$$

n מספר כריכות תברג פעילות
 H גובה אום / אורך תברג mm
 p פסיעת התברג mm

יג. בהתאם לנתוני התרגיל, בדקו את עמידת האום בתנאי החוזק

תנאי חוזק	מאמץ מותר	
$\tau_s = \frac{Q}{k \cdot n \cdot \pi \cdot d \cdot p} \leq [\tau_s]$	$[\tau_s] = 0.6 \cdot [\sigma_t]$	גזירה
$p = \frac{Q}{n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - d_1^2)} \leq [p]$	$[p] = 1.8 \cdot [\sigma_t]$	לחץ מגע

$[\tau_s]$ מאמץ מותר לגזירה לחומר האום MPa
 $[\sigma_t]$ מאמץ מותר למתיחה לחומר האום MPa
 $[p]$ לחץ מגע מותר לחומר האום MPa
 τ_s מאמץ גזירה מתפתח בשיני התברג MPa
 p לחץ מגע מתפתח בשיני התברג MPa
 Q כוח צירי הפועל בקנה הבורג N
 n מספר כריכות תברג פעילות
 k מקדם עובי בסיס שן
 d קוטר חיצוני של הבורג mm
 p פסיעת התברג mm
 d_1 קוטר קנה בורג (קוטר פנימי) mm

סוג תברג	k
ריבוע	0.5
טרפז	0.65
משולש	0.85

בדיקה / תכנון אום הבורג – המשך מעמוד קודם

תכנון אום הבורג

יד. השלימו נתוני תברג

d = mm
p = mm
d₁ = mm
d₂ = mm

טו. בהתאם לנתוני התרגיל, חשבו מספר שיני תברג דרוש לפי תנאי החוזק

מספר כריכות	מאמץ מותר	
$n_s = \frac{Q}{k \cdot [\tau_s] \cdot \pi \cdot d \cdot p}$	$[\tau_s] = 0.6 \cdot [\sigma_t]$	גזירה
$n_p = \frac{Q}{[p] \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - d_1^2)}$	$[p] = 1.8 \cdot [\sigma_t]$	לחץ מגע

MPa	מאמץ <u>מותר</u> לגזירה לחומר האום	$[\tau_s]$
MPa	מאמץ <u>מותר</u> למתיחה לחומר האום	$[\sigma_t]$
MPa	<u>לחץ מגע מותר</u> לחומר האום	$[p]$
N	כוח צירי הפועל בקנה הבורג	Q
n	מספר כריכות תברג <u>פעילות</u>	
k	מקדם עובי בסיס שן	
mm	קוטר חיצוני של הבורג	d
mm	<u>פסיעת התברג</u>	p
mm	קוטר קנה בורג (קוטר פנימי)	d ₁

סוג תברג	k
ריבוע	0.5
טרפז	0.65
משולש	0.85

טז. **בחרו** במספר הכריכות הגדול ביותר – n_{max}.

יז. חשבו גובה אום מזערי דרוש

$$H_{min} = n_{max} \cdot p$$

n מספר כריכות תברג פעילות
H_{min} גובה אום מינימלי
mm

mm

p פסיעת התבריג

כוח מרבי שקנה הבורג יכול לשאת

נתון: ממדי התברג.

דרוש: כוח Q מרבי שניתן להפעיל באמצעות הבורג, לבדוק / לתכנן גובה אום.

שלב 1 – כוח מרבי לפי תנאי היציבות לקריסה

תנאי לבדיקה: הכוח הצירי Q גורם להתפתחות מאמצי לחיצה בקנה הבורג.

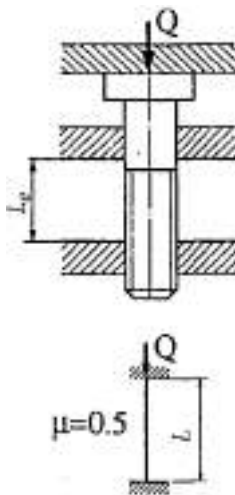
א. השלימו את נתוני תברג

d = mm
 p = mm
 d_1 = mm
 d_2 = mm

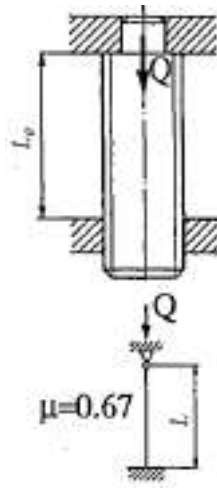
ב. חשבו אורך קריסה – L_e

$$L_e = \mu \cdot L$$

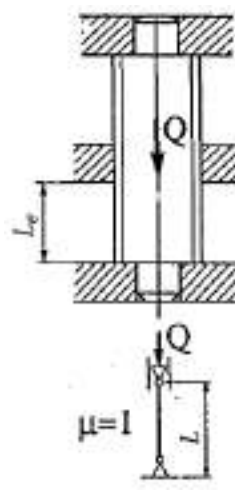
רתום בשני קצוות



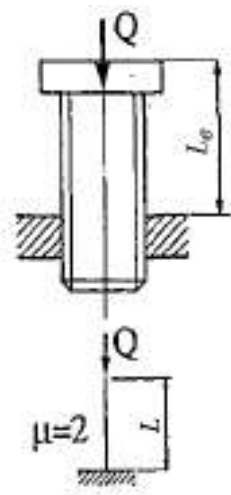
קצה רתום וקצה עם פרק



פרקים בשני הקצוות



קצה רתום וקצה חופשי



ג. חשבו תמירות (גבהות) בורג (הוכחה כי מתקיים התנאי "גוף ארוך ודק").

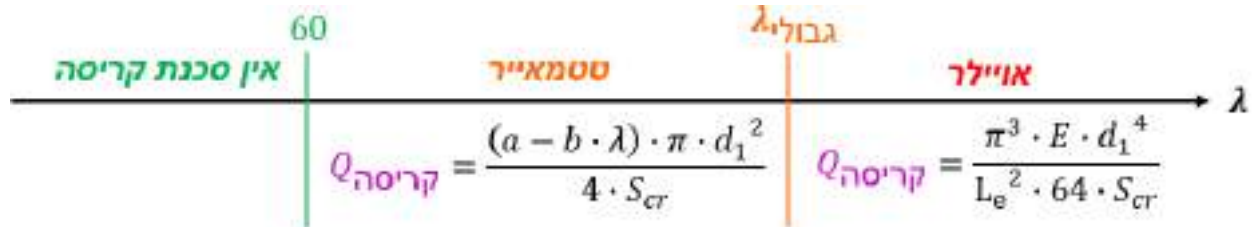
$$\lambda = \frac{L_e}{0.25 \cdot d_1}$$

λ תמירות הבורג
 L_e אורך קריסה mm
 d_1 קוטר קנה הבורג mm

המשך בעמוד הבא

כוח מרבי שקנה הבורג יכול לשאת – המשך מעמוד קודם

ד. בהתאם לתוצאת התמירות חשבו כוח קריסה קריטי



b [MPa]	a [MPa]	$\lambda_{\text{גבולי}}$	חומר	MPa	מודול אלסטיות E
1.14	310	100	פלדה דלת פחמן	N	פלדה: $E = 200000$ MPa
3.82	589	85	פלדת מסג	N	כוח לחיצה צירי מרבי הגורם לקריסה $Q_{\text{קריסה}}$
				N	כוח צירי הפועל בבורג Q
				mm	קוטר קנה הבורג d_1
				mm	אורך קריסה L_e
					תמירות הבורג λ
					תמירות גבולית $\lambda_{\text{גבולי}}$
					מקדם יציבות בקריסה S_{cr}
					לא נתון, הנח: $S_{cr} = 4$

שלב 2 – כוח מרבי לפי תנאי החוזק למאמץ מורכב

ה. חשבו שטח קנה בורג

$$A_t = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2$$

mm^2	A_t שטח קנה בורג
mm	d_1 קוטר קנה בורג (קוטר פנימי)

ו. מאמץ **מתיחה** מתפתח בקנה הבורג. רשום ביטוי תלוי כוח צירי Q .

$$\sigma_t = \frac{Q}{A_t}$$

MPa	σ_t מאמץ מתיחה מתפתח בקנה הבורג
N	Q כוח צירי הפועל בקנה הבורג
mm^2	A_t שטח קנה בורג (תוצאת סעיף א')

המשך בעמוד הבא

כוח מרבי שקנה הבורג יכול לשאת – המשך מעמוד קודם

ז. זוויות תבריג
זווית מעלה

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2} \right)$$

°	זווית מעלה	γ
mm	פסיעת התבריג	p
mm	קוטר תבריג ממוצע (אפקטיבי)	d_2

זווית חיכוך מתוקנת

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{\mu}{\cos \alpha^\circ} \right)$$

°	זווית חיכוך מתוקנת	φ'
	מקדם חיכוך בין <u>משטחי התבריג</u>	μ

תנאי נעילה עצמית

סוג תבריג חצי זווית פרופיל שן – α

0°	ריבוע
15°	טרפז
30°	משולש

$$\gamma \leq \varphi'$$

- ° זווית מעלה γ
- ° זווית חיכוך מתוקנת φ'

ח. מאמץ פיתול מתפתח בקנה הבורג. רשום ביטוי תלוי כוח צירי Q .

$$\tau_t = \frac{8 \cdot Q \cdot d_2 \cdot \tan(\gamma + \varphi')}{\pi \cdot d_1^3}$$

MPa	מאמץ פיתול <u>מתפתח</u> בקנה הבורג	τ_t
N	כוח צירי הפועל בקנה הבורג	Q
mm	קוטר תבריג ממוצע (אפקטיבי)	d_2
mm	קוטר קנה בורג (קוטר פנימי)	d_1
°	זווית מעלה	γ
°	זווית חיכוך מתוקנת	φ'

המשך בעמוד הבא

כוח מרבי שקנה הבורג יכול לשאת – המשך מעמוד קודם

ט. מאמץ מורכב מתפתח בקנה הבורג. רשום ביטוי תלוי כוח צירי Q .

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2}$$

σ_e מאמץ מורכב מתפתח בקנה הבורג MPa

σ_t מאמץ מתיחה מתפתח בקנה הבורג MPa

τ_t מאמץ פיתול מתפתח בקנה הבורג MPa

י. השוו את הביטוי המתקבל בסעיף ח' למאמץ המותר לחומר הבורג ²¹

יא. חשבו כוח צירי מרבי מותר לחומר הבורג $[Q]$.

יב. בחרו בכוח הקטן מבין תוצאות סעיפים ד' ו-י'.

²¹ נתונה דרגת חוזק ומקדם בטחון S – הוצא מטבלה 3 (תקן Din 898) מאמץ כניעה וחשב את המאמץ המותר לחומר הבורג

כוח מרבי שקנה הבורג יכול לשאת – המשך מעמוד קודם

שלב 3 – בדיקת / תכנון אום הבורג

בדיקת אום הבורג לעמידה בדרישות החוזק

יג. חשבו מספר כריכות פעילות של התבריג

$$n = \frac{H}{p}$$

n	מספר כריכות תבריג <u>פעילות</u>
H	גובה אום / אורך תבריג
p	<u>פסיעת התבריג</u>

יד. בהתאם לנתוני התרגיל, בדקו את עמידת האום בתנאי החוזק

תנאי חוזק	מאמץ מותר	
$\tau_s = \frac{Q}{k \cdot n \cdot \pi \cdot d \cdot p} \leq [\tau_s]$	$[\tau_s] = 0.6 \cdot [\sigma_t]$	גזירה
$p = \frac{Q}{n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - d_1^2)} \leq [p]$	$[p] = 1.8 \cdot [\sigma_t]$	לחץ מגע

$[\tau_s]$	מאמץ <u>מותר</u> לגזירה לחומר האום	MPa
$[\sigma_t]$	מאמץ <u>מותר</u> למתיחה לחומר האום	MPa
$[p]$	<u>לחץ מגע מותר</u> לחומר האום	MPa
τ_s	מאמץ גזירה <u>מתפתח</u> בשיני התבריג	MPa
p	לחץ מגע <u>מתפתח</u> בשיני התבריג	MPa
Q	כוח צירי הפועל בקנה הבורג	N
n	מספר כריכות תבריג <u>פעילות</u>	
k	מקדם עובי בסיס שן	
d	קוטר חיצוני של הבורג	mm
p	<u>פסיעת התבריג</u>	mm
d_1	קוטר קנה בורג (קוטר פנימי)	mm

k	סוג תבריג
0.5	ריבוע
0.65	טרפז
0.85	משולש

כוח מרבי שקנה הבורג יכול לשאת – המשך מעמוד קודם

תכנון אום הבורג

טו. בהתאם לנתוני התרגיל, חשבו מספר שיני תברייג דרוש לפי תנאי החוזק

מספר כריכות	מאמץ מותר	
$n_s = \frac{Q}{k \cdot [\tau_s] \cdot \pi \cdot d \cdot p}$	$[\tau_s] = 0.6 \cdot [\sigma_t]$	גזירה
$n_p = \frac{Q}{[p] \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - d_1^2)}$	$[p] = 1.8 \cdot [\sigma_t]$	לחץ מגע

MPa	מאמץ <u>מותר</u> לגזירה לחומר האום	$[\tau_s]$
MPa	מאמץ <u>מותר</u> למתיחה לחומר האום	$[\sigma_t]$
MPa	<u>לחץ מגע מותר</u> לחומר האום	$[p]$
N	כוח צירי הפועל בקנה הבורג	Q
	מספר כריכות תברייג <u>פעילות</u>	n
mm	קוטר חיצוני של הבורג	d
mm	<u>פסיעת התברייג</u>	p
mm	קוטר קנה בורג (קוטר פנימי)	d_1

k	סוג תברייג
0.5	ריבוע
0.65	טרפז
0.85	משולש

טז. בחרו במספר הכריכות הגדול ביותר – $n_{\max}$.

יז. חשבו גובה אום מזערי דרוש

$$H_{\min} = n_{\max} \cdot p$$

	מספר כריכות תברייג <u>פעילות</u>	n
mm	גובה אום מינימלי	$H_{\min}$
mm	<u>פסיעת התברייג</u>	p

מומנט והספק



הספק מושקע להנעת הבורג

$$H_{in} = \frac{M_t \cdot n}{9.55 \cdot 10^6}$$

kW	הספק מושקע להנעת הבורג ²²	H_{in}
Nmm	מומנט סיבוב הדרוש להנעת הבורג ²³	M_t
rpm	מספר סיבובי הבורג	n

הספק מופק מהבורג

$$H_{out} = \frac{Q \cdot v}{1000}$$

kW	הספק מופק מהבורג (נמסר להנעת צרכן המערכת)	H_{out}
N	כוח צירי הפועל בבורג	Q
m/s	מהירות תנועה קווית	v

מהירות קווית של הבורג

$$v = \frac{p \cdot n}{60000}$$

mm	פסיעת התברג	p
rpm	מספר סיבובי הבורג	n

²² יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) לסימון המושג **הספק** הוא יחליף את השימוש באות H .

²³ ראה מומנט סיבוב נדרש להנעת הבורג בעמוד הבא

²⁴ במידה ובמכללה שלך נמדד המומנט ביחידות Nm חלק נוסחה זו ל-9550.

נצילות בורג הנעה

$$\eta = \frac{\tan \gamma}{\tan(\gamma + \varphi')}$$

- נצילות החיבור η
- זווית מעלה γ
- זווית חיכוך מתוקנת φ'

מומנט סיבוב נדרש להנעת הבורג

בהזנחת הפסדי החיכוך במסבים התומכים בבורג ההנעה, המומנט הדרוש להנעת הבורג, המתגבר על החיכוך בין תבריג האום לתבריג הבורג

(1) בהתאם לפרופיל הבורג השלימו נתוני תבריג

$$\begin{aligned} d &= \text{mm} \\ p &= \text{mm} \\ d_1 &= \text{mm} \\ d_2 &= \text{mm} \end{aligned}$$

(2) בדקו תנאי נעילה עצמית
זווית מעלה

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2} \right)$$

- זווית מעלה γ
- פסיעת התבריג p
- קוטר תבריג ממוצע (אפקטיבי) d_2

המשך בעמוד הבא

מומנט סיבוב נדרש להנעת הבורג – המשך מעמוד קודם

זווית חיכוך מתוקנת

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{\mu}{\cos \alpha} \right)$$

סוג תברג	חצי זווית פרופיל שן – α
ריבוע	0°
טרפז	15°
משולש	30°

φ' זווית חיכוך מתוקנת
 μ מקדם חיכוך בין משטחי התברג

תנאי נעילה עצמית

$$\gamma \leq \varphi'$$

- γ זווית מעלה
- φ' זווית חיכוך מתוקנת

(3) מומנט סיבוב

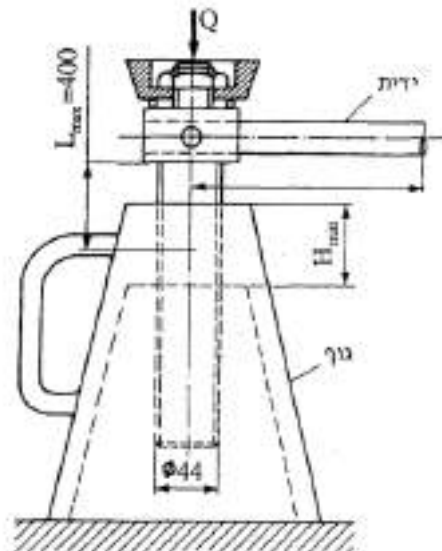
$$M_{\text{tot}} = \frac{Q \cdot d_2 \cdot \tan(\gamma + \varphi')}{2}$$

M_t	מומנט <u>סיבוב</u>	Nmm
Q	כוח צירי הפועל בקנה הבורג	N
d_2	קוטר תברג ממוצע (אפקטיבי)	mm
γ	זווית מעלה	◦
φ'	זווית חיכוך מתוקנת	◦

דוגמה 10

באיור לשאלה מתואר מגבה הרמה ידני המיועד להרמת עומס מרבי 50 kN לגובה מרבי 400 mm. בורג המכשיר הוא **ריבועי**. בורג הנעה ואום ההופכים תנועה סיבובית לתנועה קווית. הבורג מפעיל כוח **לחיצה** Q .

נתונים:



S44 × 8	תברג הבורג
5.8	דרגת חוזק
$\lambda_{גבולי} = 80$	תמירות גבולית
$E = 210000 \text{ MPa}$	מודול אלסטיות
$H_{min} = 40 \text{ mm}$	גובה אום
$L = 400 \text{ mm}$	אורך פעיל של הבורג
$S_{cr} = 5$	מקדם יציבות בקריסה
$[\tau_s] = 40 \text{ MPa}$	מאמץ מותר לגזירה
$[p] = 20 \text{ MPa}$	לחץ מגע מותר בין האום לבורג
$\mu = 0.11$	מקדם חיכוך בין הבורג והאום

דרוש: בדוק את התאמת הבורג לתנאי העבודה.

פתרון דוגמה 10

עמידת הבורג בתנאי היציבות לקריסה

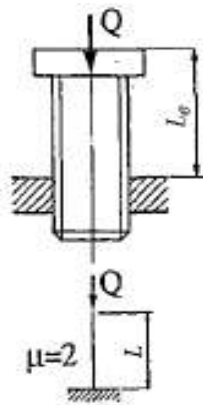
תנאי לבדיקה: הכוח הצירי Q גורם להתפתחות מאמצי לחיצה בקנה הבורג.

(1) בהתאם לסוג התבריג השלימו את נתוני תבריג

$$\begin{aligned} d &= 44 & \text{mm} \\ p &= 8 & \text{mm} \\ d_1 &= d - p = 44 - 8 = 36 & \text{mm} \\ d_2 &= \frac{d + d_1}{2} = \frac{44 + 36}{2} = 40 & \text{mm} \end{aligned}$$

(2) אורך קריסה – L_e

$$L_e = \mu \cdot L = 2 \cdot 400 = 800 \text{ mm}$$



קצה רתום וקצה חופשי

(3) תמירות (גבהות) בורג (הוכחה כי מתקיים התנאי "גוף ארוך ודק").

$$\lambda = \frac{L_e}{0.25 \cdot d_1} = \frac{800}{0.25 \cdot 36} \cong 134 > \lambda_{\text{גבולי}}$$

(4) בהתאם לתוצאת התמירות חשבו כוח קריסה קריטי

$$Q_{\text{קריסה}} = \frac{\pi^3 \cdot E \cdot d_1^4}{L_e^2 \cdot 64 \cdot S_{cr}} = \frac{\pi^3 \cdot 210000 \cdot 36^4}{800^2 \cdot 64 \cdot 5} = 53401 \text{ N}$$

(5) תנאי יציבות בקריסה $Q_{\text{קריסה}} \geq Q$

$$Q_{\text{קריסה}} = 53401 \text{ N} > Q = 50000 \text{ N}$$

מסקנה: הבורג עומד בתנאי היציבות בקריסה.

המשך בעמוד הבא

דוגמה 10 המשך מעמוד קודם

(6) חשבו שטח קנה בורג

$$A_t = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 36^2 = 1018 \text{ mm}^2$$

(7) מאמץ מתיחה מתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_t = \frac{Q}{A_t} = \frac{50000}{1018} = 49 \text{ MPa}$$

(8) זוויות תבריג

זווית מעלה

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{8}{\pi \cdot 40} \right) = 3.64^\circ$$

זווית חיכוך מתוקנת

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{\mu}{\cos \alpha^\circ} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0.11}{\cos 0^\circ} \right) = 6.28^\circ$$

תנאי נעילה עצמית

$$\gamma = 3.64^\circ < \varphi' = 6.28^\circ$$

מתקיים התנאי לנעילה עצמית

(9) מאמץ פיתול מתפתח בקנה הבורג

$$\tau_t = \frac{8 \cdot Q \cdot d_2 \cdot \tan(\gamma + \varphi')}{\pi \cdot d_1^3} = \frac{8 \cdot 50000 \cdot 40 \cdot \tan(3.64^\circ + 6.28^\circ)}{\pi \cdot 36^3} = 19 \text{ MPa}$$

(10) מאמץ משולב מתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2} = \sqrt{49^2 + 3 \cdot 19^2} \cong 60 \text{ MPa}$$

(11) תנאי חוזק

$$\sigma_e < [\sigma_t] = \frac{\sigma_y}{S} = \frac{420}{2.5} = 168 \text{ MPa}$$

מסקנה "קנה הבורג עומד/אינו עומד בתנאי החוזק".

המשך בעמוד הבא

דוגמה 10 המשך מעמוד קודם

(12) חשבו מספר כריכות פעילות של התבריג

$$n = \frac{H}{p} = \frac{40}{8} = 5$$

(13) בדקו את עמידת האום בתנאי החוזק

$$\tau_s = \frac{Q}{k \cdot n \cdot \pi \cdot d \cdot p} = \frac{50000}{0.5 \cdot 5 \cdot \pi \cdot 44 \cdot 8} = 18 \text{ MPa} < [\tau_s] = 40 \text{ MPa} \quad \text{גְּזִירָה}$$

$$p = \frac{Q}{n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - d_1^2)} = \frac{50000}{5 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (44^2 - 36^2)} = 20 \text{ MPa} = [p] \quad \text{לחץ מגע}$$

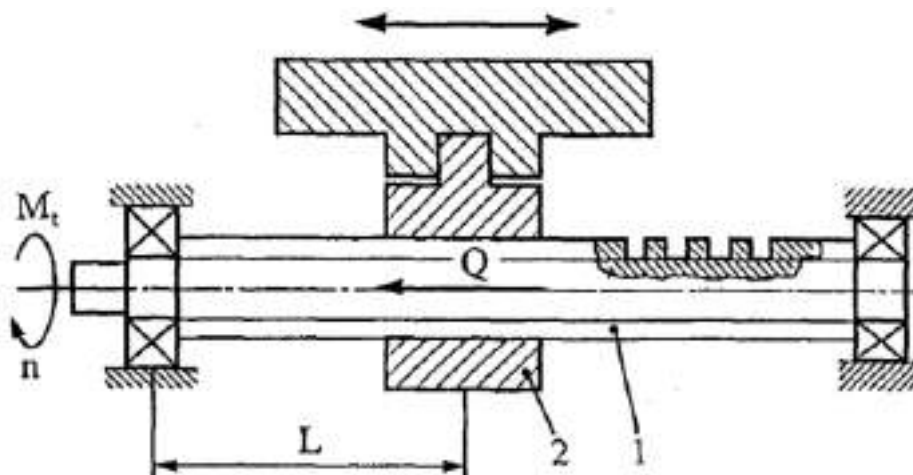
מסקנה: שיני האום עומדות בתנאי החוזק

דוגמה 11

באיור לשאלה מתוארת מערכת הנעה בורג-אום, המשמשת להנעת גררה של מכונת שיבוב. בעת עבודת המכלול מתפתח בבורג כוח צירי מרבי $Q = 6 \text{ kN}$.

נתונים:

$E = 210000 \text{ MPa}$	מודול אלסטיות
$L = 600 \text{ mm}$	אורך פעיל של הבורג
$S_{cr} = 4$	מקדם יציבות בקריסה
$[\sigma_e] = 150 \text{ MPa}$	מאמץ מורכב מותר
$[p] = 8 \text{ MPa}$	לחץ מגע מותר בין האום לבורג
$n = 8$	מספר כריכות אום
$\mu = 0.1$	מקדם חיכוך בין הבורג והאום
$n = 100 \text{ rpm}$	קצב סיבוב



דרוש:

- בחרו ממדי תבריק ריבועי לפי תנאי העבודה של המכלול.
- חשבו מומנט והספק הדרושים להנעת המכלול.

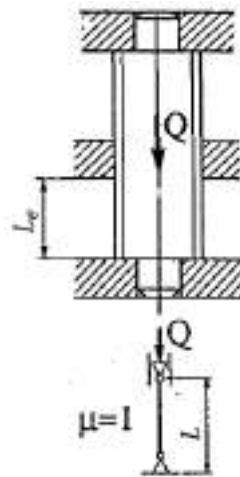
פתרון דוגמה 11

א. בחרו ממדי תבריק ריבועי לפי תנאי העבודה של המכלול.

(1) חשבו אורך קריסה – L_e

$$L_e = \mu \cdot L = 1 \cdot 600 = 600 \text{ mm}$$

פרקים בשני הקצוות



(2) חשבו קוטר קנה בורג נדרש (לפי תנאי היציבות לקריסה)

$$d_{1min} = \left(\frac{Q \cdot L_e^2 \cdot 64 \cdot S_{cr}}{\pi^3 \cdot E} \right)^{\frac{1}{4}} = \left(\frac{6000 \cdot 600^2 \cdot 64 \cdot 4}{\pi^3 \cdot 210000} \right)^{\frac{1}{4}} = 17 \text{ mm}$$

(3) קבעו ממדי תבריק (קוטר חיצוני, פסיעה, קוטר פנימי)

$$d_{min} = 1.2 \cdot d_{1min} = 1.2 \cdot 17$$

קוטר חיצוני מזער נדרש

$$d_1 = d - p = 26 - 5 = 21 \text{ mm} \quad (\text{חפשו זוג מידות שהפרשם קרוב לקוטר הפנימי המחושב})$$

$$d_1 \geq d_{1min}$$

האם מתקיים התנאי

מתקיים = אלו ממדי הבורג הנדרשים

(4) חשבו תמירות (גבהות) בורג (הוכחה כי מתקיים התנאי "גוף ארוך ודק").

$$\lambda = \frac{L_e}{0.25 \cdot d_1} = \frac{600}{0.25 \cdot 21} = 114.3 > \lambda_{גבולי} = 100$$

דוגמה 11 המשך מעמוד קודם

(5) בהתאם לפרופיל הבורג השלימו נתוני תברג

$$\begin{aligned} d &= 26 \text{ mm} \\ p &= 5 \text{ mm} \\ d_1 &= 21 \text{ mm} \\ d_2 &= \frac{26 + 21}{2} = 23.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

(6) חשבו שטח קנה בורג

$$A_t = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 21^2 = 346.4 \text{ mm}^2$$

(7) מאמץ מתיחה מתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_t = \frac{Q}{A_t} = \frac{6000}{346.4} = 17.4 \text{ MPa}$$

(8) זוויות תברג

זווית מעלה

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{5}{\pi \cdot 23.5} \right) = 3.875^\circ$$

זווית חיכוך מתוקנת

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{\mu}{\cos \alpha} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0.1}{\cos 0^\circ} \right) = 5.71^\circ$$

תנאי נעילה עצמית

$$\gamma = 3.875^\circ \leq \varphi' = 5.71^\circ$$

מתקיים תנאי נעילה עצמית

(9) מאמץ פיתול מתפתח בקנה הבורג

$$\tau_t = \frac{8 \cdot Q \cdot d_2 \cdot \tan(\gamma + \varphi')}{\pi \cdot d_1^3} = \frac{8 \cdot 6000 \cdot 23.5 \cdot \tan(3.875^\circ + 5.71^\circ)}{\pi \cdot 21^3} = 65.5 \text{ MPa}$$

(10) מאמץ מורכב מתפתח בקנה הבורג

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2} = \sqrt{17.4^2 + 3 \cdot 65.5^2} = 115 \text{ MPa}$$

(11) תנאי חוזק

$$\sigma_e = 115 \text{ MPa} \leq [\sigma_t] = 150 \text{ MPa}$$

מסקנה "קנה הבורג עומד/אינו עומד בתנאי החוזק".

דוגמה 11 המשך מעמוד קודם

(12) בהתאם לנתוני התרגיל, בדקו את עמידת האום בתנאי החוזק

$$p = \frac{Q}{n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - d_1^2)} \leq [p]$$

$$p = \frac{6000}{8 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (26^2 - 21^2)} = 4.064 \leq 8 \text{ MPa}$$

ב. חשבו מומנט והספק הדרושים להנעת המכלול.

$$M_{\text{tot}} = \frac{Q \cdot d_2 \cdot \tan(\gamma + \varphi')}{2} = \frac{6000 \cdot 23.5 \cdot \tan(3.875^\circ + 5.71^\circ)}{2} = 11905 \text{ Nmm}$$

$$H_{\text{in}} = \frac{M_t \cdot n}{9.55 \cdot 10^6} = \frac{11905 \cdot 100}{9.55 \cdot 10^6} = 0.125 \text{ kW}$$

דוגמה 12

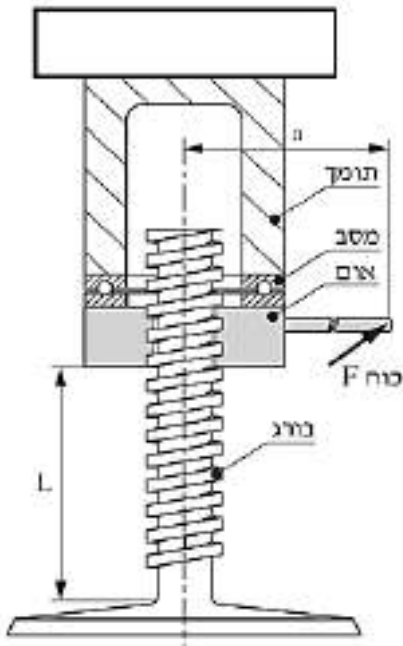
באיור לשאלה מתואר מתקן הרמה. הנושא עומס W . לבורג שבמתקן תבריג ריבועי שקוטרו החיצוני 40 mm ופסיעתו 6 mm. המטען, W , המיועד להרמה באמצעות המתקן, מונח על תומך; בין התומך לאום מורכב מסב צירי.

הכוח F הדרוש להרמת המטען פועל בקצה הזרוע של האום, במישור הניצב לדף.

נתונים:

$E = 2.1 \times 10^5$	מודול אלסטיות של חומר הבורג
$\lambda_{גבולי} = 100$	תמירות גבולית של חומר הבורג
$\mu = 0.08$	מקדם חיכוך בין הבורג לאום
$S_{cr} = 4$	מקדם יציבות לקריסה
$L_{max} = 450 \text{ mm}$	אורך מרבי של הבורג
$a = 600 \text{ mm}$	אורך הזרוע של האום

דרוש: מהו הכוח המרבי שהבורג יכול לשאת?



פתרון דוגמה 12

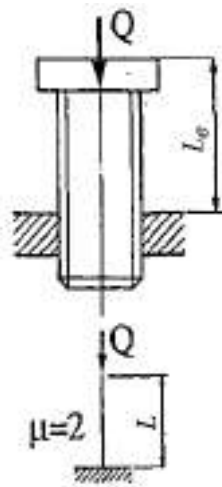
א. השלימו את נתוני תבריג

$$\begin{aligned} d &= 40 \text{ mm} \\ p &= 6 \text{ mm} \\ d_1 &= 40 - 6 = 34 \text{ mm} \\ d_2 &= \frac{40 + 34}{2} = 37 \text{ mm} \end{aligned}$$

ב. חשבו אורך קריסה – L_e

$$L_e = \mu \cdot L = 2 \cdot 450 = 900 \text{ mm}$$

קצה רתום וקצה חופשי



ג. חשבו תמירות (גבהות) בורג (הוכחה כי מתקיים התנאי "גוף ארוך ודק").

$$\lambda = \frac{L_e}{0.25 \cdot d_1} = \frac{900}{0.25 \cdot 34} = 106 > \lambda_{\text{גבולי}} = 100$$

ד. בהתאם לתוצאת התמירות חשבו כוח קריסה קריטי

$$Q_{\text{קריסה}} = \frac{\pi^3 \cdot E \cdot d_1^4}{L_e^2 \cdot 64 \cdot S_{cr}} = \frac{\pi^3 \cdot 210000 \cdot 34^4}{900^2 \cdot 64 \cdot 4} = 41962 \text{ N}$$

המשך בעמוד הבא

דוגמה 12 המשך מעמוד קודם

ה. חשבו שטח קנה בורג

$$A_t = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 34^2 = 908 \text{ mm}^2$$

ו. מאמץ מתיחה מתפתח בקנה הבורג. רשום ביטוי תלוי כוח צירי Q .

$$\sigma_t = \frac{Q}{A_t} = \frac{Q}{908}$$

ז. זוויות תבריג

זווית מעלה

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{6}{\pi \cdot 37} \right) = 2.96^\circ$$

זווית חיכוך מתוקנת

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{\mu}{\cos \alpha^\circ} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0.08}{\cos 0^\circ} \right) = 4.57^\circ$$

תנאי נעילה עצמית

$$\gamma = 2.96^\circ < \varphi' = 4.57^\circ$$

מתקיים התנאי לנעילה עצמית

ח. מאמץ פיתול מתפתח בקנה הבורג. רשום ביטוי תלוי כוח צירי Q .

$$\tau_t = \frac{8 \cdot Q \cdot d_2 \cdot \tan(\gamma + \varphi')}{\pi \cdot d_1^3} = \frac{8 \cdot Q \cdot 37 \cdot \tan(2.96^\circ + 4.57^\circ)}{\pi \cdot 34^3} = 0.00032 \cdot Q$$

ט. מאמץ מורכב מתפתח בקנה הבורג. רשום ביטוי תלוי כוח צירי Q .

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_t^2} = \sqrt{\left(\frac{Q}{908} \right)^2 + 3 \cdot (0.00032 \cdot Q)^2}$$

י. השוו את הביטוי המתקבל בסעיף ח' למאמץ המותר לחומר הבורג

$$\sqrt{\left(\frac{Q}{908} \right)^2 + 3 \cdot (0.00032 \cdot Q)^2} = 150$$

יא. חשבו כוח צירי מרבי מותר לחומר הבורג $[Q]$.

$$Q = 97330 \text{ N}$$

יב. בחרו בכוח הקטן מבין תוצאות סעיפים ד' ו-י'.

$$[Q] \cong 42000 \text{ N}$$

7. מבוא למחסרות

לעיתים יש פער בין ההספק הדרוש למכלול המבצע (צרכן) ביחס למכלול המייצר (מנוע). הפער בא לידי ביטוי בשני גדלים המרכיבים הספק מכני סיבובי: מומנט סיבוב - M_t וקצב הסיבוב - n .

לסגירת הפער נעשה שימוש בממסרת – מנגנון העברת הספק מנקודה אחת לאחרת, תוך שינוי מרכיביו.



$$\eta_{tot} = \frac{H_{out}}{H_{in}}$$

	η_{tot}	נצילות כוללת של הממסרת
kW	H_{in}	הספק <u>נמסר</u> להנעת הממסרת ²⁵
kW	H_{out}	הספק <u>נדרש</u> להנעת צרכן המערכת

סיבות לשימוש בממסרת:

- * חוסר אפשרות לחיבור ישיר בין המנוע לצרכן (עקב בעיות מבנה, מיקום וכו').
- * שוני בין מהירות הסיבוב של המנוע למהירות הסיבוב הנדרשת בצרכן.
- * שינוי כיוון הסיבוב של הצרכן ביחס לכיוון הסיבוב של המנוע.
- * שינוי אופי התנועה (תנועה סיבובית לקווית או להפך).

²⁵ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) לסימון המושג **הספק** הוא יחליף את השימוש באות H .

יחס תמסורת

יחס בין מהירות הסיבוב במוצא הממסרת למהירות הסיבוב במבוא הממסרת.

$$i_{tot} = \frac{n_{out}}{n_{in}} = \frac{M_{tin}}{M_{tout}} \cdot \eta_{tot}$$

rpm	מספר סיבובי גל המבוא	n_{out}
rpm	מספר סיבובי גל המוצא	n_{in}
	יחס כולל של הממסרת	i_{tot}
Nmm	מומנט סיבוב נמסר להנעת הממסרת	M_{tin}
Nmm	מומנט סיבוב נדרש להנעת הצרכן	M_{tout}
	נצילות <u>כוללת</u> של הממסרת	η_{tot}

יחס התמסורת בוחן גם את היחסים בין רכיבי הממסרת. נגדיר:

גלגל מניע – גלגל המחובר למקור הנעה (לרוב מנוע חשמלי).

גלגל מונע – גלגל המקבל את האנרגיה להנעתו מהגלגל המניע.

מחסרת גלגלי שיניים

גלגל שיניים – גלגל אשר בהיקפו מסודרות שיניים במרחקים **שווים** זו מזו, שתפקידו העברת מומנט בקצב מסוים לגלגל שיניים נוסף או לרכיב משונן אחר.

* זוג גלגלי שיניים משולבים **תמיד** בעלי מודול שיניים זהה !!!

* זוג גלגלי שיניים משולבים יסתובב תמיד בכיוונים **מנוגדים** זה לזה !!!

$$A = \frac{m \cdot (Z_{in} \pm Z_{out})}{2} = \frac{(D_{in} \pm D_{out})}{2}$$

$$i_n = \frac{Z_1}{Z_2}$$



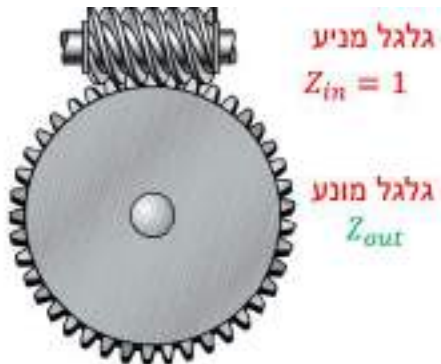
mm	קוטר מעגל חלוקה	D
mm	מודול	m
mm	מרחק בין גלגלי הממסרת	A
	מספר שיניים	Z
	יחס תמסורת	i_n

תמסורת חלזונית (Worm Gear)

תמסורת בה חילזון (גלגל שיניים לרוב בעל שן אחת) מעביר תנועה לגלגל שיניים מונע.

$$i_n = \frac{1}{Z_{in}}$$

מאפיינים:



- * העברת תנועה ב-90° לציר המניע.
- * יחס הפחתה **גבוה** בנפח תמסורת קטן.
- * **נעילה עצמית** של החילזון (החילזון מניע את הגג"ש ולא להפך) וכך **לא** מתאפשרת תנועה ללא הפעלת הגורם המניע.

תמסורת רצועה (Belt Drive)

גלגל רצועה – גלגל אשר בהיקפו חריץ צורתי בתוכו ממוקמת הרצועה (או הרצועות). תמסורת שתפקידה העברת תנועה סיבובית בין שני צירים **המרוחקים** זה מזה.

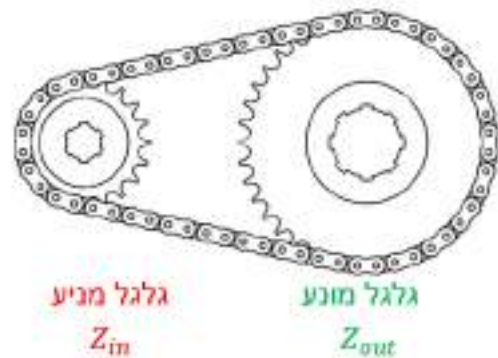


- * פעולה שקטה
- * הגנה מפני עומס-יתר: מעל עומס מסוים הרצועות מחליקות, וכך מגינות על מנגנוני המכונה האחרים.
- * **אין** העברת תנועות וזעזועים מהגלגל המניע לגלגל המונע.
- * יחס העברה קבוע עקב ההחלקה.
- * הממסרות חייבות במנגנון מתיחה.

$$i_n = \frac{d}{D}$$

תמסורת שרשרת

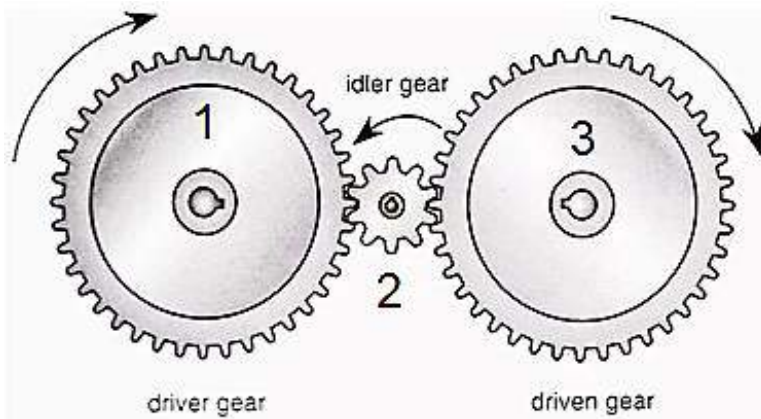
$$i_n = \frac{Z_{in}}{Z_{out}}$$



תמסורות מיוחדות

תמסורת סרק (Idler gear)

כאשר מעוניינים בממסרת גלגלי שיניים שהגלגל המניע והגלגל המונע יסתובבו בכיוונים זהים עושים שימוש בגלגל (או בגלגלי) סרק. השימוש בגלגל (או בגלגלים) אינו משפיע על יחס התמסורת אלא גורם לשינוי כיוון בלבד.



נצילות כוללת לפי מרכיבים $\eta_{tot} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n$

יחס תמסורת כולל לפי מרכיבים $i_{tot} = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_2}{Z_3} \cdot \dots \cdot \frac{Z_{n-1}}{Z_n}$

יחס תמסורת כולל לפי מרכיבים $i_{tot} = \frac{n_{out}}{n_{in}}$

$i_{tot} = \frac{M_{tin}}{M_{tout}} \cdot \eta_{tot}$

תמסורת מורכבת

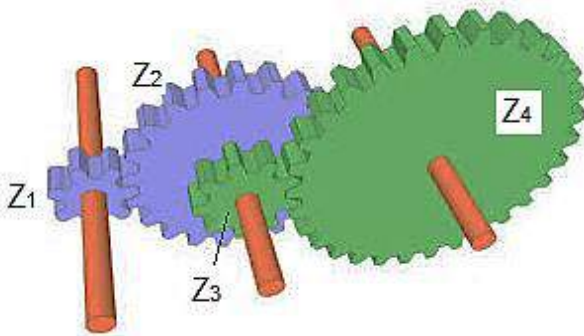
מורכבת משני זוגות או יותר של גלגלי שיניים, במטרה ליצור יחסי תמסורת גבוהים. על הגל האמצעי (גל הביניים) מחוברים שני גלגלי שיניים המקבילים זה לזה.

נצילות **כוללת** לפי מרכיבים $\eta_{tot} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n$

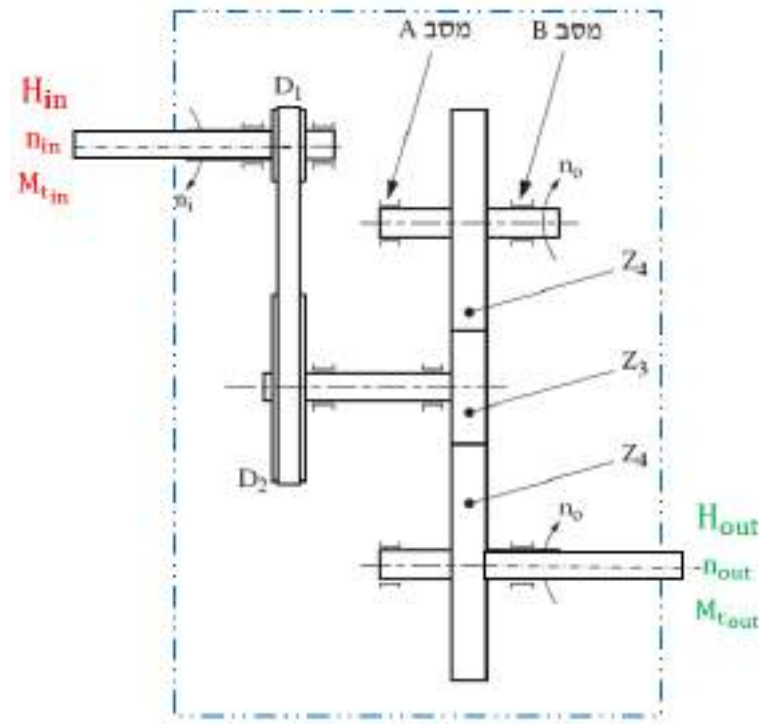
יחס תמסורת **כולל** לפי מרכיבים $i_{tot} = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{Z_3}{Z_4} \cdot \dots \cdot \frac{Z_{n-1}}{Z_n}$

יחס תמסורת כולל לפי מרכיבים $i_{tot} = \frac{n_{out}}{n_{in}}$

$i_{tot} = \frac{M_{t_{in}}}{M_{t_{out}}} \cdot \eta_{tot}$



חישובי גדלים במחסרת



נצילות ממסרת

$$\eta_{tot} = \frac{H_{out}}{H_{in}}$$

נצילות ממסרת η_{tot}
 הספק נמסר להנעת הממסרת H_{in} kW
 הספק נדרש להנעת צרכן המערכת H_{out} kW

²⁶ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) לסימון המושג הספק הוא יחליף את השימוש באות H .

יחס תמסורת כולל לפי מרכיבי ההספק

$$i_{tot} = \frac{n_{out}}{n_{in}} = \frac{M_{t_{in}}}{M_{t_{out}}} \cdot \eta_{tot}$$

	יחס <u>כולל</u> של הממסרת	i_{tot}
rpm	מספר סיבובי גל מניע	n_{out}
rpm	מספר סיבובי גל המוצא	n_{in}
Nmm	מומנט סיבוב נמסר להנעת הממסרת	$M_{t_{in}}$
Nmm	מומנט סיבוב נדרש להנעת הצרכן	$M_{t_{out}}$
	נצילות <u>כוללת</u> של הממסרת	η_{tot}

יחס בין מרכיבי הספק מכני ²⁷

$$H = \frac{M_t \cdot n}{9.55 \cdot 10^6}$$

kW	²⁸ הספק	H_{in}
Nmm	²⁹ מומנט סיבוב	M_t
rpm	מספר סיבובים	n

נצילות כוללת לפי מרכיבי הממסרת

$$\eta_{tot} = \eta_1^x \cdot \eta_2^x \cdot \dots \cdot \eta_n^x$$

נצילות <u>כוללת</u> של הממסרת	η_{tot}
נצילות ממסרת <u>בודדת</u>	η_n
מספר רכיבי ממסרת מאותו סוג	x

יחס תמסורת כולל לפי מרכיבי הממסרת

$$i_{tot} = i_1 \cdot i_2 \cdot \dots \cdot i_n$$

נצילות <u>כוללת</u> של הממסרת	η_{tot}
יחס תמסורת של ממסרת <u>בודדת</u>	i_n

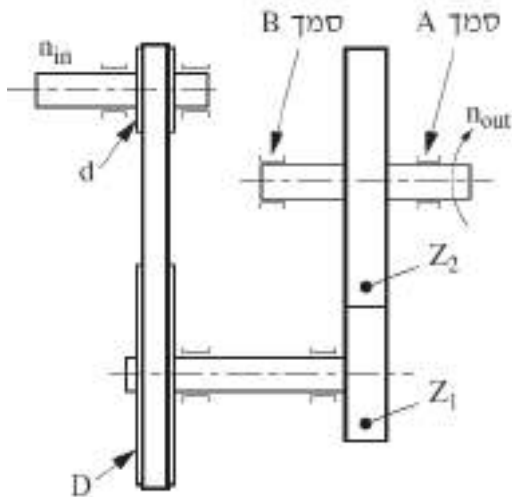
²⁷ בשימוש בנוסחה יש לציין באיזה צד (מבוא – in / מוצא – out) מתבצע החישוב

²⁸ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) לסימון המושג הספק הוא יחליף את השימוש באות H .

²⁹ במידה ומכללה שלך נמדד המומנט ביחידות Nm חלק נוסחה זו ל-9550.

דוגמה 13

באיור לשאלה מתוארת מערכת משולבת להעברת תנועה סיבובית. המערכת מורכבת ממסרת רצועה וממסרת גלגלי שיניים ישרות. כל אחד מגלי המערכת נסמך על זוג מסבי גלילה.



$$P_{out} = 20 \text{ kW}$$

$$n_{in} = 1,400 \text{ rpm}$$

$$d = 200 \text{ mm}$$

$$D = 560 \text{ mm}$$

$$Z_1 = 21$$

$$Z_2 = 70$$

$$\eta_1 = 0.99$$

$$\eta_2 = 0.85$$

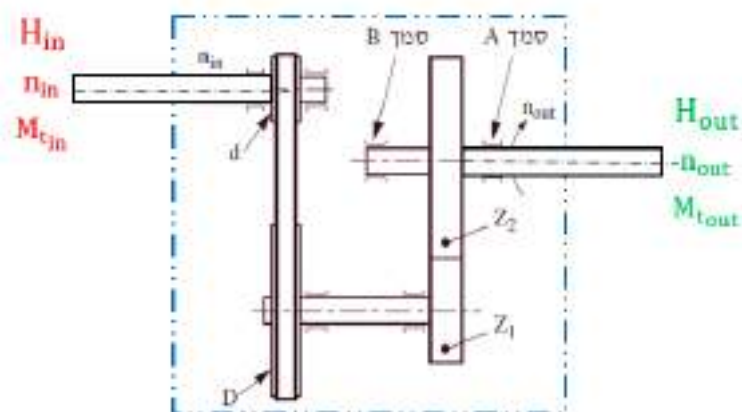
$$\eta_3 = 0.98$$

נתונים:

- ההספק ביציאה מהמערכת:
- מהירות הסיבוב בכניסה למערכת:
- הקטרים של גלגלי הרצועה:
- מספר השיניים בגלגלי השיניים:
- הנצילות של כל זוג מסבים:
- הנצילות של ממסרת הרצועה:
- הנצילות של ממסרת גלגלי השיניים:

דרוש: מומנט סיבוב בכל הכניסה ובגל היציאה.

פתרון דוגמה 13



המשך בעמוד הבא

דוגמה 13 המשך מעמוד קודם

נצילות כוללת לפי הספקי הממסרת

$$i_{tot} = \frac{n_{out}}{n_{in}}$$

יחס תמסורת כולל לפי מרכיבי הממסרת

$$i_{tot} = i_1 \cdot i_2 = \frac{d}{D} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{200}{560} \cdot \frac{21}{70} = \frac{3}{28}$$

$$\frac{3}{28} = \frac{n_{out}}{1400}$$

$$n_{out} = 150 \text{ rpm}$$

יחס בין מרכיבי ההספק המכני

$$H_{out} = \frac{M_{t_{out}} \cdot n_{out}}{9.55 \cdot 10^6}$$

$$20 = \frac{M_{t_{out}} \cdot 150}{9.55 \cdot 10^6}$$

$$M_{t_{out}} = 1273334 \text{ Nmm}$$

יחס תמסורת כולל לפי מרכיבי ההספק

$$i_{tot} = \frac{M_{t_{in}}}{M_{t_{out}}} \cdot \eta_{tot}$$

נצילות כוללת לפי מרכיבי הממסרת

$$\eta_{tot} = \eta_1^i \cdot \eta_2^i = 0.99^3 \cdot 0.85^1 \cdot 0.98^1 = 0.808$$

$$\frac{3}{28} = \frac{M_{t_{in}}}{1273334} \cdot 0.808$$

$$M_{t_{in}} = 168850 \text{ Nmm}$$

8. מקסרת רצועה

מבוא

ממסרת רצועה נמנית עם הממסרות, שבהן נמסרת האנרגיה המכנית מגלגל מניע לגלגל מונע באמצעות **חיכוך** בין הגלגל המניע לרצועה ³⁰ ובין הרצועה לגלגל המונע.

התנאי להעברת התנועה בין שני הגלים, מומנט חיכוך שערכו **גדול** ממומנט הסיבוב נמסר להנעת הגלגלים.

$$M_f > M_t$$

כדי להשיג מומנט חיכוך צריך להבטיח את קיומם של כוחות ההצמדה של הרצועה אל הגלגל. כוחות ההצמדה מתקבלים עקב מתיחת הרצועה בכוח מתיחה מוקדם Q , שערכו תלוי בהספק הנמסר.



$$H_{out} = H_{in} \cdot \eta$$

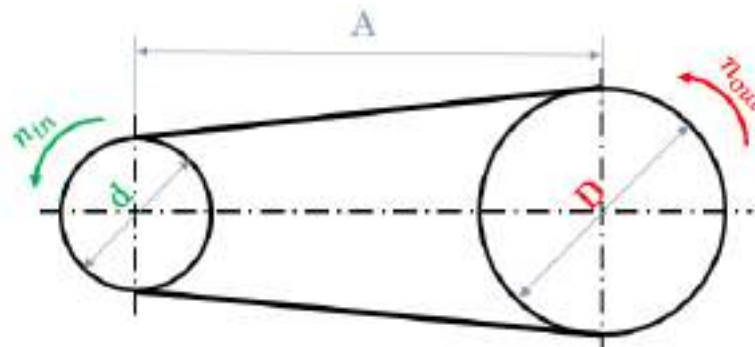
η	נצילות ממסרת
H_{in}	הספק נמסר להנעת הממסרת ³¹
H_{out}	הספק נדרש להנעת מכלול מבצע (צרכן המערכת) kW

kW

kW

³⁰ רכיב גמיש אינסופי המשמשת כ-"חלק מתווך" להעברת ההספק
³¹ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) לסימון המושג **הספק** הוא יחליף את השימוש באות H .

יחס תמסורת



$$i = \frac{n_{out}}{n_{in}} = \frac{M_{t_{in}}}{M_{t_{out}}} \cdot \eta = \frac{d \cdot (1 - \xi)}{D}$$

	יחס תמסורת	i
rpm	מספר סיבובים נמסר להנעת הממסרת	n_{in}
Nmm	מומנט סיבוב במבוא הממסרת	$M_{t_{in}}$
mm	קוטר גלגל מניע	d
rpm	מספר סיבובי גל מוצא הממסרת	n_{out}
Nmm	מומנט סיבוב במוצא הממסרת	$M_{t_{out}}$
mm	קוטר גלגל מונע	D
	נצילות ממסרה	η
	מקדם החלקה	ξ

לא נתון, הנח: $\xi = 0$

יחס בין מרכיבי הספק מכני

32

$$H = \frac{M_t \cdot n}{9.55 \cdot 10^6}$$

kW	הספק ³³	H_{in}
Nmm	מומנט סיבוב ³⁴	M_t
rpm	מספר סיבובים	n

אורך רצועה

$$L = \frac{\pi}{2} \cdot (D + d) + 2 \cdot \sqrt{A^2 + \left(\frac{D - d}{2}\right)^2}$$

mm	אורך רצועה	L
mm	מרחק בין מרכזי גלגלי הרצועה	A
mm	קוטר גלגל מניע	d
mm	קוטר גלגל מונע	D

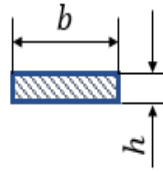
³² בשימוש בנוסחה יש לציין באיזה צד (מבוא – in / מוצא – out) מתבצע החישוב

³³ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) לסימון המושג **הספק** הוא יחליף את השימוש באות H .

³⁴ במידה ומכללה שלך נמדד המומנט ביחידות Nm חלק נוסחה זו ל-9550.

סוגי רצועות

רצועה שטוחה



שטח חתך

$$a = b \cdot h$$

mm^2	a שטח חתך
mm	b רוחב רצועה שטוחה
mm	h גובה (עובי) רצועה

יחס קוטר (גלגל מניע) עובי

$$C = \frac{d}{h}$$

	C יחס קוטר-גובה
	לא נתון, הנח: $C = 25$ או $C = 30$ באופן שיתקבל מספר שלם
mm	d קוטר גלגל מניע
mm	h גובה (עובי) רצועה

אורך חיים גדול

בלאי נמוך

הגנה מפני עומס יתר



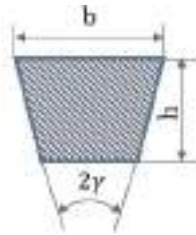
ניתן להשתמש ברצועה **אחת** בלבד לגלגל

החלקת הרצועה ('ברחת' רצועה מהגלגל)

נדרש כוח מתיחה Q **גדול** (יוצר עומס על המסבים)



רצועה טריזית



שטח חתך

$$a = b \cdot h - h^2 \cdot \tan \gamma$$

mm^2	שטח חתך ³⁵	a
mm	רוחב רצועה שטוחה	b
mm	גובה (עובי) רצועה	h
°	חצי זווית הטריז	γ

לא נתון, הנח: $\gamma = 18^\circ$

ניתן להשתמש ביותר מרצועה אחת לגלגל

נדרש כוח מתיחה Q נמוך (הקטנת העומס על המסבים)
נמנעת 'בריחת' רצועה מהגלגל



אורך חיים נמוך (שחיקה)

העברת הספק נמוך באמצעות רצועה בודדת

עלות רצועה גבוהה

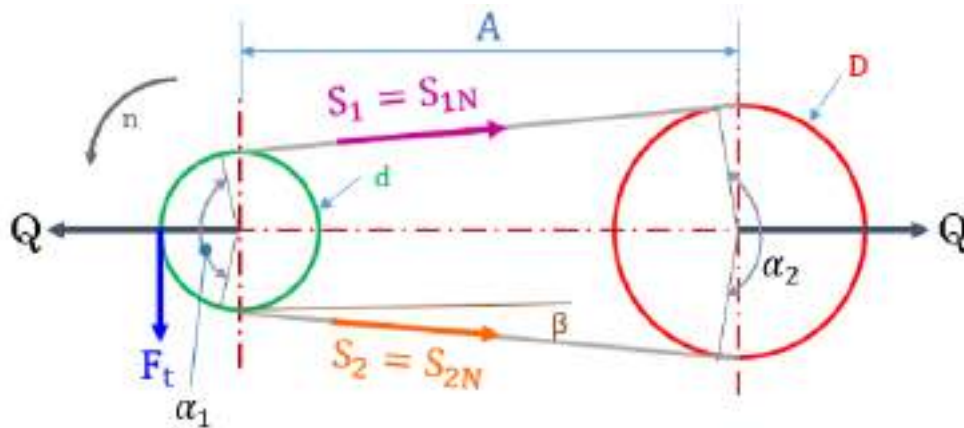
בלאי רצועה גבוה יותר



³⁵ במידה ונתון רוחב הרצועה – b חשבו מנוסחה זו את גובה הרצועה – h . שימו לב למשוואה ריבועית שתי פתרונות.

עמידת חומר הרצועה בתנאי החוזק

מטרת השימוש בממסרת העברת הספק הנמסר להנעת הגלגל ה**מניע**. ההספק הנמסר 'מתורגם' לכוח פעיל בענף מניע ולמהירות הקפית הנדרשים לצורך הנעת הגלגל המונע.



(1) מהירות הקפית

$$v_{in} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{in}}{60000}$$

$\frac{m}{sec}$	v_{in}	מהירות הקפית גלגל מניע
mm	d	קוטר גלגל מניע
rpm	n_{in}	מספר סיבובים גלגל מניע

(2) כוח משיקי **דרוש** בגלגל המניע להעברת ההספק

$$F_t = \frac{1000 \cdot H_{in}}{v_{in}}$$

$\frac{m}{sec}$	v_{in}	מהירות הקפית גלגל מניע
N	F_t	כוח משיקי
kW	H_{in}	הספק נמסר להנעת הממסרת ³⁶

המשך בעמוד הבא

³⁶ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) לסימון המושג **הספק** הוא יחליף את השימוש באות H .

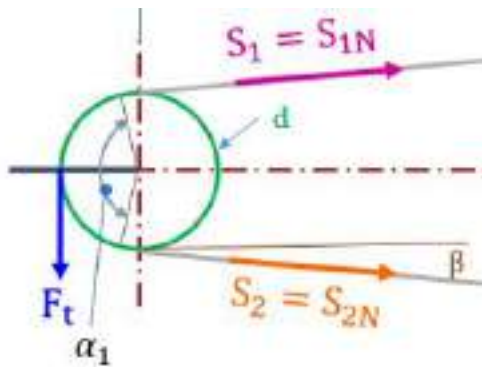
עמידה בתנאי החוזק – המשך מעמוד קודם

(3) יחס מתיחויות – k_e

נוסחת Euler

$$k_e = \frac{S_1}{S_2} = \frac{S_{1N}}{S_{2N}}$$

	יחס מתיחויות	k_e
N	כוח מתיחה ענף <u>פעיל</u> רצועה שטוחה ³⁷	S_1
N	כוח מתיחה בענף רפוי (סביל) רצועה שטוחה ³⁸	S_2
N	כוח מתיחה ענף <u>פעיל</u> רצועה טריזית	S_{1N}
N	כוח מתיחה ענף רפוי (סביל) רצועה טריזית	S_{2N}

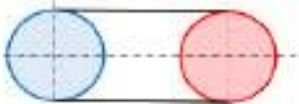


רצועה שטוחה	$k_e = e^{\alpha_{rad} \cdot \mu}$
רצועה טריזית	$k_e = e^{\frac{\alpha_{rad} \cdot \mu}{\sin \gamma}}$

α_{rad}	זווית חביקה
α	זווית חביקה
μ	מקדם חיכוך בין הרצועה לגלגל
γ	זווית טריז

לא נתון, הנח: $\gamma = 18^\circ$

זווית חביקה α_{rad}

מקרה פרטי	נתונה (חושבה) זווית נטייה β	נתונה זווית חביקה α
$\alpha_{rad} = 3.14 \text{ rad}$	$\alpha_{rad} = \pi \cdot \left(1 - \frac{\beta}{90}\right)$	$\alpha_{rad} = \alpha \cdot \frac{\pi}{180}$
		

חישוב זווית נטייה (שיפוע) ראה בעמוד הבא

³⁷ יוצר מומנט סיבוב שכיוונו מנוגד לכיוון סיבוב מנוע המסרת

³⁸ תפקידו למתוח את הרצועה על פני הגלגל כדי להבטיח את רציפות התנועה

עמידה בתנאי החוזק – המשך מעמוד קודם

נתונים ממדי הממסרת (קוטר גלגל מניע/מונע, מרחק בין צירי הגלגלים, יחס תמסורת) – **חשבו** זווית נטייה (שיפוע) β

$$\beta = \sin^{-1} \left(\frac{D - d}{2 \cdot A} \right) = \sin^{-1} \left[\frac{d \cdot (1 - i)}{2 \cdot A \cdot i} \right]$$

β	זווית נטייה	°
d	קוטר גלגל מניע	mm
D	קוטר גלגל מונע	mm
A	מרחק בין מרכזי גלגלי הרצועה	mm
i	יחס תמסורת	

(4) כוח מתיחה ענף **פעיל** (מתוח)

רצועה טריזית	רצועה שטוחה
$S_{1N} = \frac{F_t}{1 - \frac{1}{k_e}}$	$S_1 = \frac{F_t}{1 - \frac{1}{k_e}}$

S_1	כוח מתיחה ענף פעיל רצועה שטוחה	N
S_{1N}	כוח מתיחה ענף פעיל רצועה טריזית	N
F_t	כוח משיקי (סעיף 2)	N
k_e	יחס מתיחויות (סעיף 3)	

(5) מאמצים המתפתחים בענפי הרצועה

מאמץ מתיחה מתפתח בחומר הרצועה

רצועה טריזית	רצועה שטוחה
$\sigma_t = \frac{S_{1N}}{a \cdot N}$	$\sigma_t = \frac{S_1}{b \cdot h}$

σ_t	מאמץ מתיחה	MPa
S_1	כוח מתיחה ענף פעיל רצועה שטוחה (סעיף 4)	N
S_{1N}	כוח מתיחה ענף פעיל רצועה טריזית (סעיף 4)	N
b	רוחב רצועה	mm
h	גובה רצועה	mm
a	שטח חתך רצועה טריזית	mm ²
N	מספר רצועות טריזיות בגלגל המניע	

עמידה בתנאי החוזק – המשך מעמוד קודם

מאמץ כפיפה מתפתח בחומר הרצועה

$$\sigma_b = E \cdot \frac{h}{d}$$

MPa	מאמץ כפיפה מתפתח	σ_b
MPa	מודול אלסטיות חומר הרצועה	E
mm	גובה רצועה	h
mm	קוטר גלגל מניע	d

מאמץ צנטריפוגלי מתפתח בחומר הרצועה

$$\sigma_c = 0 \text{ MPa} \quad v_{in} < 20 \frac{m}{sec}$$

$$\sigma_c = \frac{v_{in}^2 \cdot \rho}{10^6} \quad v_{in} \geq 20 \frac{m}{sec}$$

MPa	מאמץ צנטריפוגלי מתפתח	σ_c
$\frac{m}{sec}$	מהירות הקפית גלגל מניע (סעיף 1)	v_{in}
$\frac{kg}{m^3}$	צפיפות חומר הרצועה	ρ

(6) תנאי חוזק

$$\sigma_e = \sigma_t + \sigma_b + \sigma_c \leq [\sigma]$$

MPa	מאמץ מורכב מתפתח	σ_e
MPa	מאמץ מותר לחומר הרצועה	$[\sigma]$
MPa	מאמץ מתיחה מתפתח (סעיף 5)	σ_t
MPa	מאמץ כפיפה מתפתח (סעיף 5)	σ_b
MPa	מאמץ צנטריפוגלי מתפתח (סעיף 5)	σ_c

מסקנה " חומר הרצועה עומד/אינו עומד בתנאי החוזק "

הספק מרבי שהרצועה יכולה להעביר

(1) מאמצים המתפתחים בענפי הרצועה

מאמץ כפיפה מתפתח בחומר הרצועה

$$\sigma_b = E \cdot \frac{h}{d}$$

MPa	מאמץ כפיפה מתפתח	σ_b
MPa	מודול אלסטיות חומר הרצועה	E
mm	גובה רצועה	h
mm	קוטר גלגל מניע	d

מהירות הקפית

$$v_{in} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{in}}{60000}$$

$\frac{m}{sec}$	מהירות הקפית גלגל מניע	v_{in}
mm	קוטר גלגל מניע	d
rpm	מספר סיבובים גלגל מניע	n_{in}

מאמץ צנטריפוגלי מתפתח בחומר הרצועה

$$\sigma_c = 0 \text{ MPa} \quad v_{in} < 20 \frac{m}{sec}$$

$$\sigma_c = \frac{v_{in}^2 \cdot \rho}{10^6} \quad v_{in} \geq 20 \frac{m}{sec}$$

MPa	מאמץ צנטריפוגלי מתפתח	σ_c
$\frac{m}{sec}$	מהירות הקפית גלגל מניע (סעיף 1)	v_{in}
$\frac{kg}{m^3}$	צפיפות חומר הרצועה	ρ

המשך בעמוד הבא

הספק מרבי שהרצועה יכולה להעביר – המשך מעמוד קודם

(2) כוח מתיחה מרבי בענף פעיל

רצועה טריזית

רצועה שטוחה

$$[S_{1N}] = ([\sigma] - \sigma_b - \sigma_c) \cdot a \cdot N \quad [S_1] = ([\sigma] - \sigma_b - \sigma_c) \cdot b \cdot h$$

N	כוח מרבי רצועה שטוחה	$[S_1]$
N	כוח מרבי רצועה טריזית	$[S_{1N}]$
MPa	מאמץ מותר לחומר הרצועה	$[\sigma]$
MPa	מאמץ כפיפה מתפתח (סעיף 2)	σ_b
MPa	מאמץ צנטריפוגלי מתפתח (סעיף 3)	σ_c
mm	רוחב רצועה	b
mm	גובה רצועה	h
mm ²	שטח חתך רצועה בודדת	a
N	מספר רצועות טריזיות	N

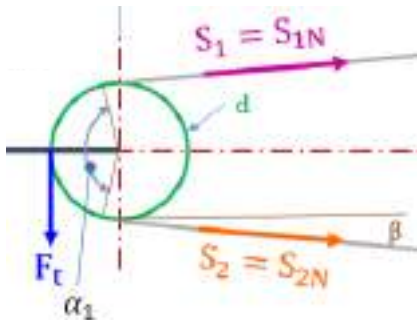
(3) יחס מתיחויות – k_e

רצועה טריזית

רצועה שטוחה

$$k_e = e^{\frac{\alpha_{rad} \cdot \mu}{\sin \gamma}}$$

$$k_e = e^{\alpha_{rad} \cdot \mu}$$



rad

°

°

α_{rad} זווית חביקה

α זווית חביקה

μ מקדם חיכוך בין הרצועה לגלגל

γ זווית טריז

לא נתון, הנח: $\gamma = 18^\circ$

חישוב זווית חביקה α_{rad}

מקרה פרטי	נתונה (חושבה) זווית נטייה – β	נתונה זווית חביקה – α
$\alpha_{rad} = 3.14 \text{ rad}$	$\alpha_{rad} = \pi \cdot \left(1 - \frac{\beta}{90}\right)$	$\alpha_{rad} = \alpha \cdot \frac{\pi}{180}$

חישוב זווית נטייה (שיפוע) ראה עמוד הבא

יחס מתיחויות – המשך מעמוד קודם

נתונים ממדי הממסרת (קוטר גלגל מניע/מונע, מרחק בין צירי הגלגלים, יחס תמסורת) – **חשבו** זווית נטייה (שיפוע) β

$$\beta = \sin^{-1} \left(\frac{D - d}{2 \cdot A} \right) = \sin^{-1} \left[\frac{d \cdot (1 - i)}{2 \cdot A \cdot i} \right]$$

β	זווית נטייה	°
d	קוטר גלגל מניע	mm
D	קוטר גלגל מונע	mm
A	מרחק בין מרכזי גלגלי הרצועה	mm
i	יחס תמסורת	

(4) כוח משיקי **מרב**

רצועה שטוחה	רצועה טריזית
$[F_t] = [S_1] \cdot \left(1 - \frac{1}{k_e}\right)$	$[F_t] = [S_{1N}] \cdot \left(1 - \frac{1}{k_e}\right)$

$[S_1]$	כוח מרבי מותר רצועה שטוחה	N
$[S_{1N}]$	כוח מרבי מותר רצועה טריזית	N
$[F_t]$	כוח משיקי מרב שהרצועה יכולה להעביר	N
k_e	יחס מתיחויות (סעיף 3)	

(5) הספק מרבי

$$[H_{in}] = \frac{[F_t] \cdot v_{in}}{1000}$$

$[H_{in}]$	הספק מרב שהרצועה יכולה להעביר	kW
F_t	כוח משיקי (סעיף 5)	N
v_{in}	מהירות הקפית גלגל מניע (סעיף 1)	$\frac{m}{sec}$

רוחב רצועה שטוחה – b

(1) מהירות הקפית

$$v_{in} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{in}}{60000}$$

v_{in} מהירות הקפית גלגל מניע $\frac{m}{sec}$

d קוטר גלגל מניע mm

n_{in} מספר סיבובים גלגל מניע rpm

(2) כוח משיקי דרוש בגלגל המניע להעברת ההספק

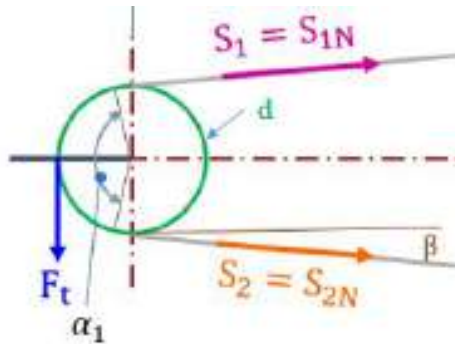
$$F_t = \frac{1000 \cdot H_{in}}{v_{in}}$$

v_{in} מהירות הקפית גלגל מניע $\frac{m}{sec}$

F_t כוח משיקי N

H_{in} הספק נמסר להנעת הממסרת kW

(3) יחס מתיחויות – k_e



$$k_e = e^{\alpha_{rad} \cdot \mu}$$

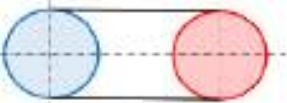
rad
°

α_{rad} זווית חביקה

α זווית חביקה

μ מקדם חיכוך בין הרצועה לגלגל

חישוב זווית חביקה α_{rad}

מקרה פרטי	נתונה (חושבה) זווית נטייה – β	נתונה זווית חביקה – α
$\alpha_{rad} = 3.14 \text{ rad}$	$\alpha_{rad} = \pi \cdot \left(1 - \frac{\beta}{90}\right)$	$\alpha_{rad} = \alpha \cdot \frac{\pi}{180}$
		

רוחב רצועה שטוחה – המשך מעמוד קודם

נתונים ממדי הממסרת (קוטר גלגל מניע/מונע, מרחק בין צירי הגלגלים, יחס תמסורת) – **חשבו** זווית נטייה (שיפוע) β

$$\beta = \sin^{-1} \left(\frac{D - d}{2 \cdot A} \right) = \sin^{-1} \left[\frac{d \cdot (1 - i)}{2 \cdot A \cdot i} \right]$$

β	זווית נטייה	°
d	קוטר גלגל מניע	mm
D	קוטר גלגל מונע	mm
A	מרחק בין מרכזי גלגלי הרצועה	mm
i	יחס תמסורת	

(4) כוח מתיחה ענף **פעיל** (מתוח)

$$S_1 = \frac{F_t}{1 - \frac{1}{k_e}}$$

S_1	כוח מתיחה ענף פעיל רצועה שטוחה	N
F_t	כוח משיקי (סעיף 2)	N
k_e	יחס מתיחויות (סעיף 3)	

(6) רוחב רצועה

$$b = \frac{S_1}{([\sigma] - \sigma_b - \sigma_c) \cdot h}$$

b	רוחב רצועה (עגל למספר שלם)	mm
S_1	כוח בענף פעיל (סעיף 4)	N
$[\sigma]$	מאמץ מותר לחומר הרצועה	MPa
σ_b	מאמץ כפיפה (סעיף 7)	MPa
σ_c	מאמץ צנטריפוגלי (סעיף 7)	MPa
h	גובה רצועה	mm

המשך בעמוד הבא

רוחב רצועה שטוחה – המשך מעמוד קודם

(7) מאמצים מתפתחים בחומר הרצועה

מאמץ כפיפה מתפתח בחומר הרצועה

$$\sigma_b = E \cdot \frac{h}{d}$$

MPa	מאמץ כפיפה מתפתח	σ_b
MPa	מודול אלסטיות חומר הרצועה	E
mm	גובה רצועה	h
mm	קוטר גלגל מניע	d

מאמץ צנטריפוגלי מתפתח בחומר הרצועה

$$\sigma_c = 0 \text{ MPa} \quad v_{in} < 20 \frac{m}{sec}$$

$$\sigma_c = \frac{v_{in}^2 \cdot \rho}{10^6} \quad v_{in} \geq 20 \frac{m}{sec}$$

MPa	מאמץ צנטריפוגלי מתפתח	σ_c
$\frac{m}{sec}$	מהירות הקפית גלגל מניע (סעיף 1)	v_{in}
$\frac{kg}{m^3}$	צפיפות חומר הרצועה	ρ

מספר רצועות טריזיות – N

(1) מהירות הקפית

$$v_{in} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{in}}{60000}$$

v_{in} מהירות הקפית גלגל מניע $\frac{m}{sec}$

d קוטר גלגל מניע mm

n_{in} מספר סיבובים גלגל מניע rpm

(2) כוח משיקי דרוש בגלגל המניע להעברת ההספק

$$F_t = \frac{1000 \cdot H_{in}}{v_{in}}$$

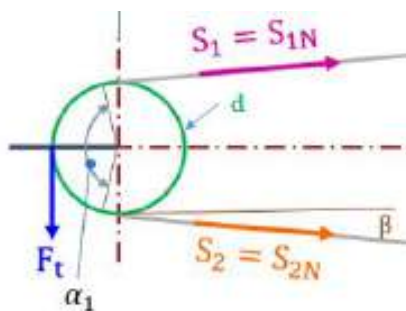
v_{in} מהירות הקפית גלגל מניע $\frac{m}{sec}$

F_t כוח משיקי N

H_{in} הספק נמסר להנעת הממסרת $^{39} kW$

(3) יחס מתיחויות – k_e

$$k_e = e \frac{\alpha_{rad} \cdot \mu}{\sin \gamma}$$



rad
°

α_{rad} זווית חביקה

α זווית חביקה

μ מקדם חיכוך בין הרצועה לגלגל

°

γ זווית טריז

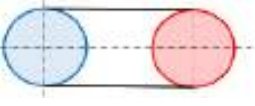
לא נתון, הנח: $\gamma = 18^\circ$

המשך בעמוד הבא

³⁹ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) לסימון המושג הספק הוא יחליף את השימוש באות H.

מספר רצועות טריזיות דרוש – המשך מעמוד קודם

חישוב זווית חביקה α_{rad}

מקרה פרטי	נתונה (חושבה) זווית נטייה β	נתונה זווית חביקה α
$\alpha_{rad} = 3.14 \text{ rad}$	$\alpha_{rad} = \pi \cdot \left(1 - \frac{\beta}{90}\right)$	$\alpha_{rad} = \alpha \cdot \frac{\pi}{180}$
		

נתונים ממדי הממסרת (קוטר גלגל מניע/מונע, מרחק בין צירי הגלגלים, יחס תמסורת) – **חשבו** זווית נטייה β – (שיפוע)

$$\beta = \sin^{-1} \left(\frac{D - d}{2 \cdot A} \right) = \sin^{-1} \left[\frac{d \cdot (1 - i)}{2 \cdot A \cdot i} \right]$$

°	זווית נטייה β
mm	קוטר גלגל מניע d
mm	קוטר גלגל מונע D
mm	מרחק בין מרכזי גלגלי הרצועה A
	יחס תמסורת i

(4) כוח מתיחה דרוש ענף **פעיל** (מתוח)

$$S_{1N} = \frac{F_t}{1 - \frac{1}{k_e}}$$

N	כוח מתיחה ענף פעיל רצועה שטוחה S_1
N	כוח מתיחה ענף פעיל רצועה טריזית S_{1N}
N	כוח משיקי (סעיף 2) F_t
	יחס מתיחויות (סעיף 3) k_e

המשך בעמוד הבא

מספר רצועות טריזיות דרוש – המשך מעמוד קודם

(5) מאמצים מתפתחים בחומר הרצועה

מאמץ כפיפה מתפתח בחומר הרצועה

$$\sigma_b = E \cdot \frac{h}{d}$$

MPa	מאמץ כפיפה מתפתח	σ_b
MPa	מודול אלסטיות חומר הרצועה	E
mm	גובה רצועה	h
mm	קוטר גלגל מניע	d

מאמץ צנטריפוגלי מתפתח בחומר הרצועה

$$\sigma_c = 0 \text{ MPa} \quad v_{in} < 20 \frac{m}{sec}$$

$$\sigma_c = \frac{v_{in}^2 \cdot \rho}{10^6} \quad v_{in} \geq 20 \frac{m}{sec}$$

MPa	מאמץ צנטריפוגלי מתפתח	σ_c
$\frac{m}{sec}$	מהירות הקפית גלגל מניע (סעיף 1)	v_{in}
$\frac{kg}{m^3}$	צפיפות חומר הרצועה	ρ

(6) מספר רצועות דרוש

$$N = \frac{S_{1N}}{([\sigma] - \sigma_b - \sigma_c) \cdot a}$$

N	כוח ענף פעיל N רצועות	S_{1N}
MPa	מאמץ מותר לחומר הרצועה	$[\sigma]$
MPa	מאמץ כפיפה (סעיף 5)	σ_b
MPa	מאמץ צנטריפוגלי (סעיף 5)	σ_c
mm ²	שטח חתך רצועה בודדת	a
N	מספר רצועות טריזיות	N

עגל למספר רצועות שלם

חשב לפי דרישה

כוח מתיחה ענף סביל (רפוי)

$$\begin{array}{ll} \text{רצועה שטוחה} & \text{רצועה טריזית} \\ S_2 = \frac{S_1}{k_e} & S_{2N} = \frac{S_{1N}}{k_e} \end{array}$$

N	כוח מתיחה ענף <u>פעיל</u> רצועה שטוחה	S_1
N	כוח מתיחה ענף <u>רפוי</u> (סביל) רצועה שטוחה	S_2
N	כוח מתיחה ענף <u>פעיל</u> רצועה טריזית	S_{1N}
N	כוח מתיחה ענף <u>רפוי</u> (סביל) רצועה טריזית	S_{2N}
	יחס מתיחויות	k_e

כוח מתיחת הרצועה

$$\begin{array}{ll} \text{רצועה שטוחה} & \text{רצועה טריזית} \\ Q = (S_1 + S_2) \cdot \cos \beta & Q = (S_{1N} + S_{2N}) \cdot \cos \beta \end{array}$$

N	כוח מתיחת הרצועות	Q
N	כוח מתיחה ענף <u>פעיל</u>	S_1
N	כוח מתיחה ענף <u>רפוי</u>	S_2
N	כוח מתיחה ענף <u>פעיל</u> רצועה טריזית	S_{1N}
N	כוח מתיחה ענף <u>רפוי</u> (סביל) רצועה טריזית	S_{2N}
°	זווית נטייה	β
	ידועה זווית חביקה	

$$\beta = \frac{180 - \alpha}{2}$$

נצילות רצועה

$$\eta = 1 - \frac{2 \cdot S_{1N} \cdot \left(1 - \frac{1}{k_e}\right)}{a \cdot N \cdot E} \quad \text{רצועה טריזית}$$

$$\eta = 1 - \frac{2 \cdot S_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{k_e}\right)}{b \cdot h \cdot E} \quad \text{רצועה שטוחה}$$

η	נצילות ממסרה
S_1	כוח מתיחה ענף <u>פעיל</u> רצועה שטוחה
S_{1N}	כוח מתיחה ענף <u>פעיל</u> רצועה טריזית
b	רוחב רצועה
h	גובה רצועה
a	שטח חתך רצועה טריזית
N	מספר רצועות טריזיות על הגלגל המניע
E	מודול אלסטיות חומר הרצועה
MPa	

מומנט דרוש להנעת הממסרת

$$M_{tin} = S_{1N} \cdot \left(1 - \frac{1}{k_e}\right) \cdot \frac{d}{2} \quad \text{רצועה טריזית}$$

$$M_{tin} = S_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{k_e}\right) \cdot \frac{d}{2} \quad \text{רצועה שטוחה}$$

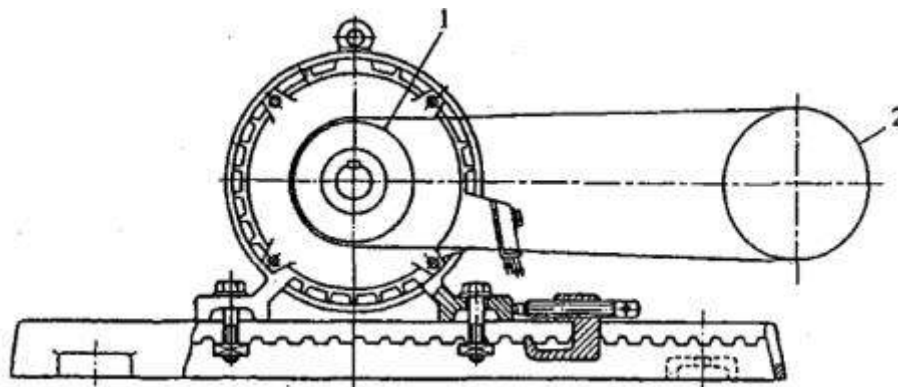
M_{tin}	מומנט סיבוב <u>דרוש</u> להנעת הממסרת
S_1	כוח מתיחה ענף <u>פעיל</u> (סעיף 4) רצועה שטוחה
S_{1N}	כוח מתיחה ענף <u>פעיל</u> רצועה טריזית
d	קוטר גלגל מניע
mm	

גלגלון מתיחה

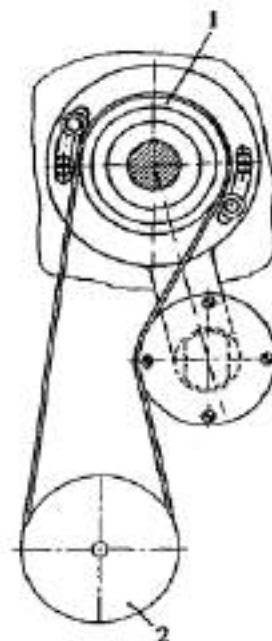
⁴⁰ כדי לאפשר את יצירת כוחות החיכוך בין הרצועה והגלגלים, יש למתוח את הרצועה מתיחה מוקדמת.

קיימות מספר שיטות למתיחת הרצועה:

- מתיחה על-ידי הזזת אחד הגלגלים – זוהי השיטה המועדפת מכיוון שאינה גורמת למאמצי כפיפה נוספים ברצועה ומאריכה את אורך חיי הרצועה.

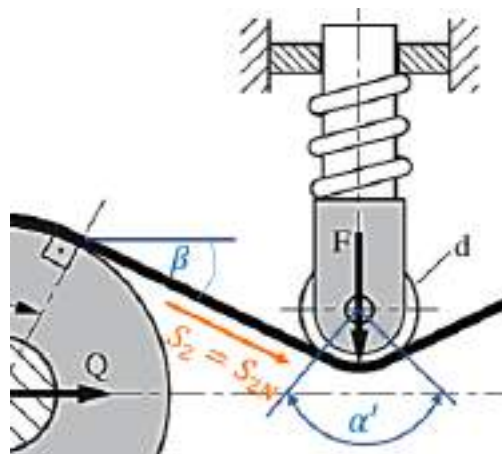
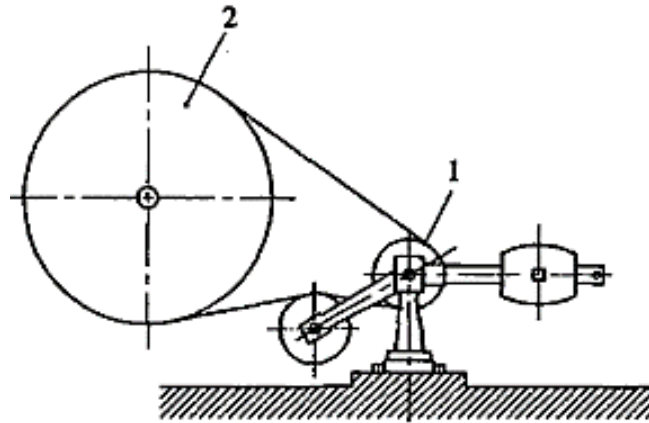


- מתיחה על ידי גלגל קבוע – נעשה שימוש בגלגל נוסף, היכול לנוע במסלול קבוע המוזז עד לקבלת המתיחה הרצויה ואז נועלים אותו במקומו.



⁴⁰ יורכב תמיד בענף **הסביל** של הרצועה

- מתיחה על-ידי גלגל מתיחה נייד – נעשה שימוש בגלגל נוסף היכול לנוע במסלול קבוע, ומפעילים עליו כוח קבוע בעזרת מנגנון קפיצי או בעזרת משקולת.



רצועה טריזית

רצועה שטוחה

$$F = 2 \cdot S_{2N} \cdot \sin(\beta) = 2 \cdot S_{2N} \cdot \cos\left(\frac{\alpha'}{2}\right) \quad F = 2 \cdot S_2 \cdot \sin(\beta) = 2 \cdot S_2 \cdot \cos\left(\frac{\alpha'}{2}\right)$$

N	כוח מתיחה נדרש	F
N	כוח מתיחה ענף רפוי (סעיף 5) רצועה שטוחה	S_2
N	כוח מתיחה ענף רפוי (סעיף 5) רצועה טריזית	S_{2N}
°	זווית בין ענפי הרצועה	β
°	זווית חביקה גלגל מתיחה	α'

דוגמה 14

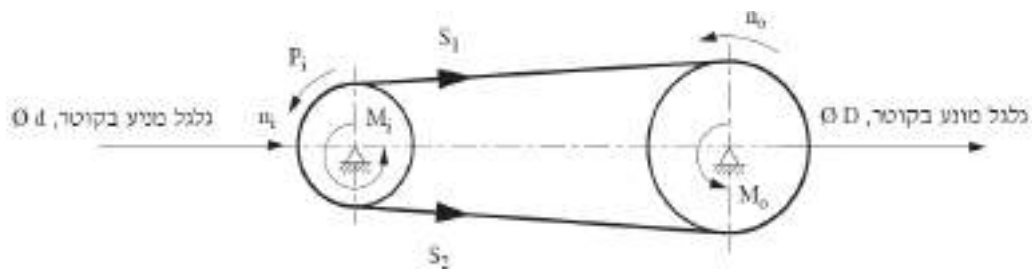
באיור לשאלה מתוארת ממסרת רצועה שטוחה.

נתונים:

$D = 600 \text{ mm}$	קוטר גלגל מונע
$i = 1:3$	יחס תמסורת
$h = 8 \text{ mm}$	גובה רצועה
$b = 40 \text{ mm}$	רוחב רצועה
$\alpha_{in} = 160^\circ$	זווית חביקה גלגל מניע
$P_{in} = 10 \text{ kW}$	ההספק המועבר
$\eta = 0.93$	נצילות ממסרת

חומר הרצועה

$E = 40 \text{ MPa}$	מודול אלסטיות
$[\sigma] = 6 \text{ MPa}$	מאמץ מותר
$\mu = 0.4$	מקדם חיכוך



א. קוטר, d , של הגלגל המניע.

ב. כוח מתיחה מרב בענף פעיל של הרצועה, $[S_1]$ בהנחה שהמאמץ הצנטריפוגלי זניח.

ג.

1. כוח מתיחה בענף סביל של הרצועה, S_2 .

2. מומנט סיבוב, $M_{t_{in}}$, הפועל על הגלגל הקטן.

3. מספר סיבובי גלגל מניע, n_{in} .

4. מומנט סיבוב, $M_{t_{out}}$, המועבר לצרכן.

פתרון דוגמה 14

א. קוטר, d , של הגלגל המניע.

$$i = \frac{d \cdot (1 - \xi)}{D}$$

לא נתון, הנח: $\xi = 0$

$$\frac{1}{3} = \frac{d \cdot (1 - 0)}{600}$$

$$d = 200 \text{ mm}$$

ב. כוח מתיחה מרב בענף פעיל של הרצועה, $[S_1]$.

מאמץ כפיפה מתפתח

$$\sigma_b = E \cdot \frac{h}{d} = 50 \cdot \frac{8}{200} = 2 \text{ MPa}$$

$$[S_1] = ([\sigma] - \sigma_b - \sigma_c) \cdot b \cdot h = (6 - 2 - \sigma_c) \cdot 40 \cdot 8 = 1280 \text{ N}$$

ג.

1. כוח מתיחה בענף סביל של הרצועה, S_2 .

$$S_2 = \frac{S_1}{k_e}$$

יחס מתיחויות

$$k_e = e^{\alpha_{rad} \cdot \mu}$$

$$\alpha_{rad} = \alpha \cdot \frac{\pi}{180} = 160 \cdot \frac{\pi}{180} = 2.793 \text{ rad}$$

$$k_e = e^{2.795 \cdot 0.4} = 3.06$$

$$S_2 = \frac{1280}{3.06} = 418 \text{ N}$$

המשך בעמוד הבא

דוגמה 14 המשך פתרון מעמוד קודם

2. מומנט סיבוב, $M_{t_{in}}$, הפועל על הגלגל הקטן.

$$M_{t_{in}} = (S_1 - S_2) \cdot \frac{d}{2} = (1280 - 418) \cdot \frac{200}{2} = 86200 \text{ Nmm}$$

3. מספר סיבובי גלגל מניע, n_{in} .

$$H_{in} = \frac{M_{t_{in}} \cdot n_{in}}{9.55 \cdot 10^6}$$

$$10 = \frac{86200 \cdot n_{in}}{9.55 \cdot 10^6}$$

$$n_{in} \cong 1110 \text{ rpm}$$

4. מומנט סיבוב, $M_{t_{out}}$, המועבר לצרכן.

$$i = \frac{M_{t_{in}}}{M_{t_{out}}} \cdot \eta$$

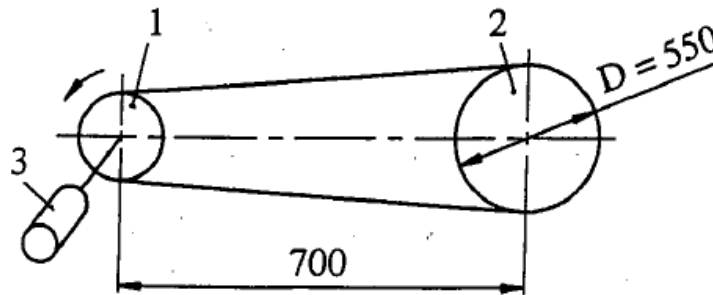
$$\frac{1}{3} = \frac{86200}{M_{t_{out}}} \cdot 0.93$$

$$M_{t_{out}} \cong 240500 \text{ Nmm}$$

דוגמה 15

ממסרת רצועה שטוחה מונעת על ידי מנוע ③ המסתובב 1400 rpm.

נתונים:



$i = 1:2.5$ יחס תמסורת

רצועה שטוחה

$h = 4 \text{ mm}$ גובה

$b = 60 \text{ mm}$ רוחב

רצועה טריזית

$h = 6 \text{ mm}$ גובה

$a = 45 \text{ mm}^2$ שטח חתך

חומר הרצועות

$\mu = 0.4$ מקדם חיכוך

$[\sigma] = 6 \text{ MPa}$ מאמץ מותר

$E = 50 \text{ MPa}$ מודול אלסטיות

דרוש:

א. הספק מרי שניתן להעביר באמצעות ממסרת רצועה שטוחה.

ב. כמה רצועות טריזיות דרושות להעברת הספק זהה לזה שחושב בסעיף א'?

פתרון דוגמה 15

א. הספק מרב שניתן להעביר באמצעות ממסרת רצועה שטוחה.

מאמץ כפיפה מתפתח

$$\sigma_b = E \cdot \frac{h}{d} = 50 \cdot \frac{4}{d}$$

$$i = \frac{d \cdot (1 - \xi)}{D}$$

$$\frac{1}{2.5} = \frac{d \cdot (1 - 0)}{550}$$

$$d = 220 \text{ mm}$$

$$\sigma_b = 50 \cdot \frac{4}{220} = 0.91 \text{ MPa}$$

מהירות הקפית

$$v_{in} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{in}}{60000} = \frac{\pi \cdot 220 \cdot 1400}{60000} = 16.2 \frac{m}{s}$$

מאמץ צנטריפוגלי מתפתח בחומר הרצועה

$$v_{in} = 16.2 \frac{m}{s} < 20 \frac{m}{sec} \rightarrow \sigma_c = 0 \text{ MPa}$$

כוח מותב בענף פעיל (מתוח)

$$[S_1] = ([\sigma] - \sigma_b - \sigma_c) \cdot b \cdot h = (6 - 0.91 - 0) \cdot 60 \cdot 4 = 1221.6 \text{ N}$$

המשך בעמוד הבא

דוגמה 15 המשך מעמוד קודם

יחס מתיחויות – k_e

$$\beta = \sin^{-1} \left[\frac{D-d}{2 \cdot A} \right] = \sin^{-1} \left[\frac{550-220}{2 \cdot 700} \right] = 13.64^\circ$$

$$\alpha_{rad} = \pi \cdot \left(1 - \frac{\beta}{90} \right) = \pi \cdot \left(1 - \frac{13.64^\circ}{90} \right) = 2.7 \text{ rad}$$

$$k_e = e^{\alpha_{rad} \cdot \mu} = e^{2.7 \cdot 0.4} = 2.95$$

כוח משיקי

$$[F_t] = [S_1] \cdot \left(1 - \frac{1}{k_e} \right) = 1221.6 \cdot \left(1 - \frac{1}{2.95} \right) = 807.5 \text{ N}$$

הספק מרבי שניתן להעביר באמצעות הרצועה

$$[H_{in}] = \frac{[F_t] \cdot v_{in}}{1000} = \frac{807.5 \cdot 16.2}{1000} = 13 \text{ kW}$$

דוגמה 15 המשך מעמוד קודם

ב. כמה רצועות טריזיות דרושות להעברת הספק זהה לזה שחושב בסעיף א'?

מהירות הקפיץ

$$v_{in} = 16.2 \frac{m}{s}$$

מאמץ צנטריפוגלי **מתפתח** בחומר הרצועה

$$v_{in} = 16.2 \frac{m}{s} < 20 \frac{m}{sec} \rightarrow \sigma_c = 0 \text{ MPa}$$

כוח משיקי

$$F_t = 807.5 \text{ N}$$

יחס מתיחויות – k_e

לא נתון, הנח: $\gamma = 18^\circ$

$$k_e = e^{\frac{\alpha_{rad} \cdot H}{\sin \gamma}} = e^{\frac{2.7 \cdot 0.4}{\sin 18^\circ}} = 33$$

כוח בענף פעיל (מתוח) – כוח המתיחה הכולל הדרוש בענף פעיל של N רצועות טריזיות לצורך העברת ההספק.

$$S_{1N} = \frac{F_t}{1 - \frac{1}{k_e}} = \frac{807.5}{1 - \frac{1}{33}} = 833 \text{ N}$$

מאמץ כפיפה **מתפתח** בחומר הרצועה

$$\sigma_b = E \cdot \frac{h}{d} = 50 \cdot \frac{6}{220} = 1.36 \text{ MPa}$$

מספר רצועות נדרש

$$N = \frac{S_{1N}}{([\sigma] - \sigma_b - \sigma_c) \cdot a} = \frac{833}{(6 - 1.36 - 0) \cdot 45} = 4$$

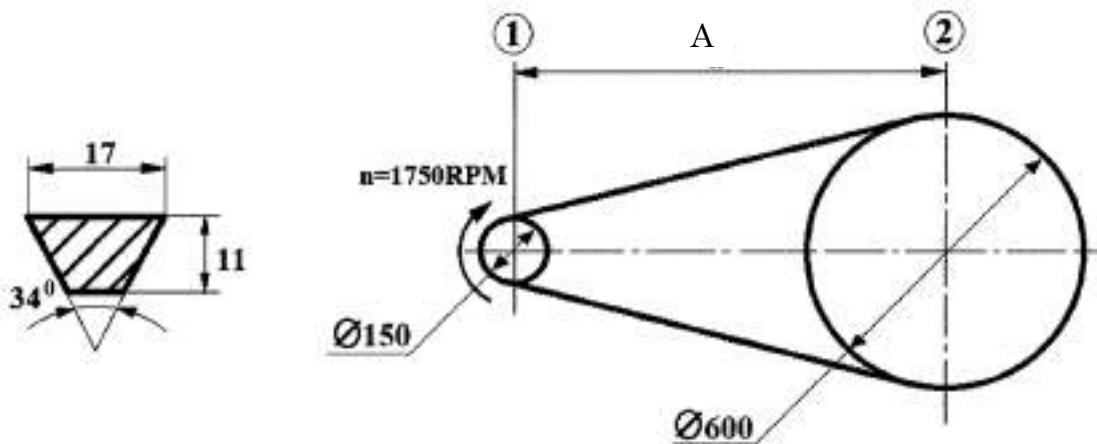
דוגמה 16

רצועה טריזית אחת שאורכה 3000 mm מחוברת לגלגלי רצועה בעלי קטרים 150 mm ו-600 mm. המהירות הסיבובית של הגלגל המניע ① $n_1 = 1750 \text{ rpm}$. חתך הרצועה מוצג באיור לשאלה.

נתונים:

רצועה טריזית

$a = 150 \text{ mm}^2$	שטח חתך
$[\sigma] = 5 \text{ MPa}$	מאמץ מותר לחומר הרצועה
$E = 10 \text{ MPa}$	מודול אלסטיות
$\mu = 0.15$	מקדם חיכוך בין הרצועה לגלגל
$\gamma = 12000 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$	משקל סגולי חומר הרצועה



דרוש:

- המרחק A בין צירי הגלגלים.
- הספק מרבי שהממסרה יכולה להעביר.

פתרון דוגמה 16

א. המרחק A בין צירי הגלגלים.

$$L = \frac{\pi}{2} \cdot (D + d) + 2 \cdot \sqrt{A^2 + \left(\frac{D - d}{2}\right)^2}$$

$$3000 = \frac{\pi}{2} \cdot (600 + 150) + 2 \cdot \sqrt{A^2 + \left(\frac{600 - 150}{2}\right)^2}$$

$$A \cong 885 \text{ mm}$$

ב. הספק מרבי שהמסרה יכולה להעביר.

1. מאמץ כפיפה מתפתח בחומר הרצועה

$$\sigma_b = E \cdot \frac{h}{d} = 10 \cdot \frac{11}{150} = 0.74 \text{ MPa}$$

2. מהירות הקפיץ

$$v_{in} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{in}}{60000} = \frac{\pi \cdot 150 \cdot 1750}{60000} = 13.75 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

3. מאמץ צנטריפוגלי מתפתח בחומר הרצועה

$$v_{in} < 20 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \rightarrow \sigma_c = 0 \text{ MPa}$$

4. כוח מתיחה מרבי ענף פעיל

$$[S_{1N}] = ([\sigma] - \sigma_b - \sigma_c) \cdot a \cdot N = (5 - 0.74 - 0) \cdot 150 \cdot 1 \cong 640 \text{ N}$$

דוגמה 16 המשך מעמוד קודם

5. יחס מתיחויות – k_e

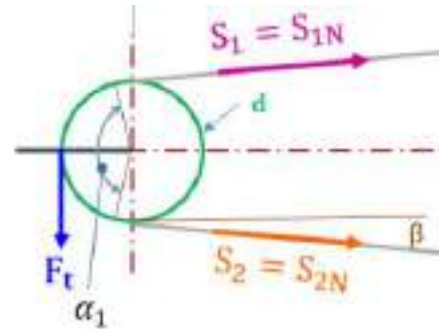
נתונים ממדי הממסרת (קוטר גלגל מניע/מונע, מרחק בין צירי הגלגלים, יחס תמסורת) – **חשב** זווית

נטייה (שיפוע) – β

$$\beta = \sin^{-1} \left(\frac{D - d}{2 \cdot A} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{600 - 150}{2 \cdot 885} \right) = 14.72^\circ$$

$$\alpha_{rad} = \pi \cdot \left(1 - \frac{\beta}{90} \right) = \pi \cdot \left(1 - \frac{14.72}{90} \right) = 2.63 \text{ rad}$$

$$k_e = e^{\frac{\alpha_{rad} \cdot \mu}{\sin \gamma}} = e^{\frac{2.63 \cdot 0.15}{\sin 17}} = 3.86$$



6. כוח משיקי **מרב**

$$[F_t] = [S_{1N}] \cdot \left(1 - \frac{1}{k_e} \right) = 640 \cdot \left(1 - \frac{1}{3.86} \right) \cong 400 \text{ N}$$

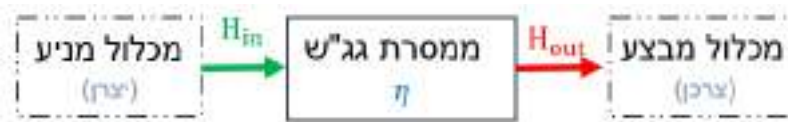
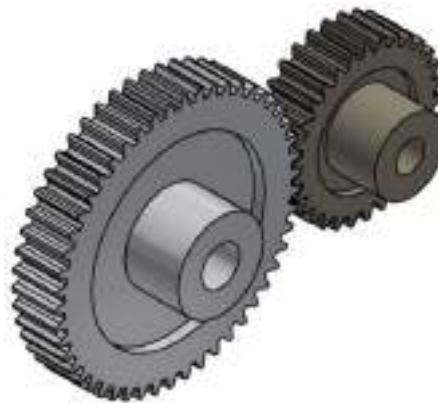
7. הספק **מרב**

$$[H_{in}] = \frac{[F_t] \cdot v_{in}}{1000} = \frac{400 \cdot 13.75}{1000} = 5.5 \text{ kW}$$

9. ממסרת גלגלי שיניים ישרות

מבוא

ממסרת גלגלי שיניים נמנית עם הממסרות, בהן נמסרת האנרגיה המכנית מגלגל מניע לגלגל מונע הודות לכוח הקפי – F_t הנמסר משן לשן. הכוח הקפי מתקבל כאשר מצליחים לחבר את גלגלי השיניים זה לזה בנקודת מגע הסובבת על מעגלי החלוקה שלהם.



$$H_{out} = H_{in} \cdot \eta$$

נצילות ממסרת

הספק נמסר להנעת הממסרת ⁴¹ kW

הספק נדרש להנעת מכלול מבצע (צרכן המערכת) kW

טבלה 9.1 – מודולים תקינים לפי תקן ISO

8	6	5	4	3	2.5	2	1.5	1.25	1	מומלץ
9	7	5.5	4.5	3.5	2.75	2.25	1.75	1.375	1.125	עדיפות שנייה
		50	40	32	25	20	16	12	10	מומלץ
			45	36	28	22	18	14	11	עדיפות שנייה

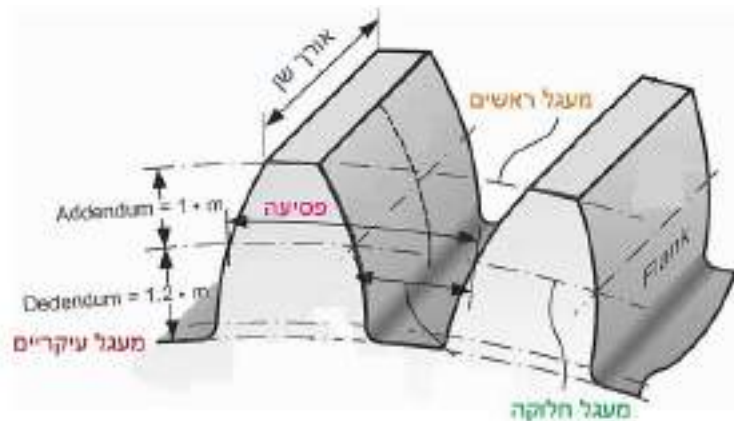
⁴¹ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) לסימון המושג הספק הוא יחליף את השימוש באות H .

יחס תמסורת

$$i = \frac{n_{out}}{n_{in}} = \frac{M_{t_{in}}}{M_{t_{out}}} \cdot \eta = \frac{Z_{in}}{Z_{out}}$$

	יחס תמסורת	i
rpm	מספר סיבובים נמסר להנעת הממסרת	n_{in}
rpm	מספר סיבובי גל מוצא הממסרת	n_{out}
	יחס תמסורת	i
Nmm	מומנט סיבוב במוצא הממסרת	$M_{t_{out}}$
Nmm	מומנט סיבוב במבוא הממסרת	$M_{t_{in}}$
	נצילות ממסרה	η
	יחס תמסורת	i
mm	מספר שיני גלגל מניע	Z_{in}
mm	מספר שיני גלגל מונע	Z_{out}

מידות יסוד



קוטר מעגל חלוקה

$$D = m \cdot Z$$

mm	D	קוטר מעגל חלוקה
mm	m	מודול השן (פסיעה)
mm	Z	מספר שיני הגלגל

קוטר מעגל ראשים

$$D_e = m \cdot (Z + 2)$$

D_e קוטר מעגל הראשים mm

מעגל עיקריים

$$D_i = m \cdot (Z - 2.5)$$

D_i קוטר מעגל העיקריים mm

אורך שן (רוחב גלגל)

$$b = \lambda \cdot m$$

b אורך שן (רוחב גלגל) mm
 λ מקדם אורך שן

לא ניתן לחשב, **הנח**: $\lambda = 10$

מרחק בין גלגלים

$$A = \frac{m \cdot (Z_1 \pm Z_2)}{2} = \frac{m \cdot Z_1 \left(1 \pm \frac{1}{i}\right)}{2} = \frac{D_1 \pm D_2}{2}$$

A מרחק בין מרכזי הגלגלים mm

m מודול השן (פסיעה) mm

D_1 קוטר מעגל חלוקה גלגל **מניע** mm

D_2 קוטר מעגל חלוקה גלגל **מונע** mm

Z_1 מספר שיניים גלגל **מניע**

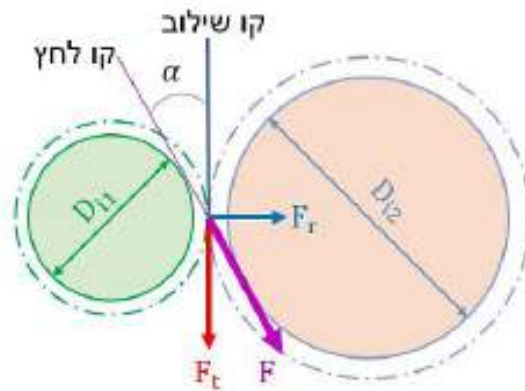
Z_2 מספר שיניים גלגל **מונע**

i יחס תמסורת

(+) תשלובת חיצונית (-) תשלובת פנימית



כוחות שילוב בשן בודדת



כוח הקפי (חשיקי)

$$F_t = \frac{2 \cdot M_{tin}}{D_1} = \frac{2 \cdot M_{tin}}{m \cdot Z_{in}} = \frac{19.1 \cdot 10^6 \cdot H_{in}}{n_{in} \cdot m \cdot Z_{in}}$$

N	כוח הקפי ⁴²	F_t
Nmm	מומנט נמסר להנעת הממסרת	M_{tin}
mm	קוטר מעגל חלוקה גלגל מניע	D_1
kW	הספק נמסר להנעת הממסרת ⁴³	H_{in}
rpm	מספר סיבובים נמסר להנעת המערכת	n_{in}
mm	מודול השן (פסיעה)	m
	מספר שיני גלגל מניע	Z_{in}

כוח רדיאלי

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha$$

N	כוח רדיאלי ⁴⁴	F_r
°	זווית שילוב (זווית לחץ)	α

כוח שקול

$$F = \sqrt{F_t^2 + F_r^2} = \frac{F_t}{\cos \alpha}$$

F כוח שקול N

⁴² כוח המועבר משן גלגל מניע הגורם לדחיפת שן הגלגל המונע.

⁴³ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) לסימון המושג **הספק** הוא יחליף את השימוש באות H .

⁴⁴ נדרש ליצירת נקודה/ות השקה בין מעגלי החלוקה של שני גלגלי השיניים.

תכן גלגלי שיניים לפי תנאי החוזק לכפיפה

תנאי חוזק לכפיפה

$$\sigma_b = \left(\frac{265}{m}\right)^3 \cdot \frac{k_o \cdot H_{in}}{n_{in} \cdot \lambda \cdot Z_{in} \cdot Y \cdot k_v \cdot k_\varepsilon} \leq [\sigma_b]$$

MPa	מאמץ כפיפה מתפתח בשן הגלגל	σ_b
mm	מודול שן (פסיעה)	m
	מקדם עומס יתר (מקדם תנאי עבודה)	k_o
	לא נתון, קבע מטבלה 9.2	
kW	הספק נמסר להנעת הממסרת ⁴⁵	H_{in}
rpm	מספר סיבובי גלגל מניע	n_{in}
	מקדם רוחב שן	λ
	נתון מודול ואורך שן (רוחב גלגל)	
	$\lambda = \frac{b}{m}$	
	לא ניתן לחשב, הנתן: $\lambda = 10$	
	מספר שיני גלגל מניע	Z_{in}
	מקדם צורת שן (לואיס) – טבלה 9.3	Y
	מקדם חלוקת עומס בין השיניים	k_ε
	מקדם מהירות – טבלה 9.4	k_v
MPa	מאמץ מותר לכפיפה	$[\sigma_b]$
Nmm	מומנט סיבוב ⁴⁶	M_t

⁴⁵ אם הגלגל המניע מחובר ליותר מצרכן אחד ונתון הספק לכל צרכן – חשב את סכום הספקי הצרכנים.
⁴⁶ אם הגלגל המניע מחובר ליותר מגלגל אחד – המומנט הוא סכום המומנטים על הגלגל המניע.

מודול שן

$$m = 265 \cdot \sqrt[3]{\frac{k_o \cdot H_{in}}{n_{in} \cdot \lambda \cdot Z_{in} \cdot Y \cdot k_v \cdot k_\varepsilon \cdot [\sigma_b]}}$$

הספק מרבי

$$H_{in} = \left(\frac{m}{265}\right)^3 \cdot \frac{n_{in} \cdot \lambda \cdot Z_{in} \cdot Y \cdot k_v \cdot k_\varepsilon \cdot [\sigma_b]}{k_o}$$

מומנט מרבי

$$M_t = \frac{m^3 \cdot \lambda \cdot Z_{in} \cdot Y \cdot k_v \cdot k_\varepsilon \cdot [\sigma_b]}{2 \cdot k_o}$$

טבלה 9.3 – מקדם עומס יתר (k_o)

עומס בצרכן ההספק

מקור ההספק ⁴⁷	אחיד	חבטות	חבטות קשות
אחיד	1	1.25	> 1.75
חבטות קלות	1.25	1.5	> 2
חבטות	1.5	1.75	> 2.25

טבלה 9.4 – מקדם צורת שן לואיס, (Y)

מקדם צורת שן (לואיס) – Y

Z	Y	Z	Y
12	0.245	28	0.353
13	0.261	30	0.359
14	0.277	34	0.371
15	0.290	38	0.384
16	0.296	43	0.397
17	0.303	50	0.409
18	0.309	60	0.422
19	0.314	75	0.435
20	0.322	100	0.447
21	0.328	150	0.460
22	0.331	300	0.472
24	0.337	400	0.480
26	0.346	≥ 500	0.486

⁴⁷ לא נתון, הנח: מקור ההספק אחיד עומס בצרכן ההספק אחיד.

טבלה 9.5 – מקדם מהירות (k_v)

$$v_{in} = \frac{\pi \cdot m \cdot Z_{in} \cdot n_{in}}{60000}$$

v_{in} מהירות הקפיט
לא נתון מודול שן, **הנח**: $v_{in} = 5 \frac{m}{sec}$
 m מודול שן (פסיעה)
 Z_{in} מספר שיני גלגל מניע
 n_{in} מספר סיבובי גלגל מניע

k_v	צורת עיבוד השיניים ⁴⁸
$\frac{3}{3 + v_{in}}$	יציקה
$\frac{6}{6 + v_{in}}$	עיבוד פלסטי
$\frac{50}{50 + \sqrt{200 \cdot v_{in}}}$	עיבוד שבבי
$\frac{78}{78 + \sqrt{200 \cdot v_{in}}}$	השחזה

מקדם חלוקת עומס בין השיניים, (k_ε)

$$k_\varepsilon = 0.9 \cdot \left[1.88 - 3.2 \cdot \left(\frac{1}{Z_{in}} \pm \frac{1}{Z_{out}} \right) \right]$$

$$k_\varepsilon = 0.9 \cdot \left(1.88 - 3.2 \cdot \frac{1 \pm i}{Z_{in}} \right)$$

(-) תשלובת פנימית



(+) תשלובת חיצונית



k_ε מקדם חלוקת עומס בין השיניים
 Z_{in} מספר שיני גלגל מניע
 Z_{out} מספר שיני גלגל מונע
 i יחס תמסורת

⁴⁸ צורת עיבוד השיניים אינה נתונה, הנח – עיבוד שבבי

מאמץ מותר לכפיפה

לא נתון מאמץ מותר לכפיפה

$$[\sigma_b] = \frac{\sigma_o}{S \cdot k_c}$$

MPa	מאמץ מותר לכפיפה	$[\sigma_b]$
MPa	חוזק גבולי לעומס פועם	σ_o
לא נתון, קבע מטבלה 9.6		
S מקדם בטחון		
לא נתון, קבע מטבלה 9.6		
k _c מקדם ריכוז מאמצים		
לא נתון, קבע מטבלה 9.6		
MPa	מאמץ מרבי למתיחה	σ_B
MPa	מאמץ כניעה במתיחה	σ_y

טבלה 9.6

סוג חומר	מאמץ כניעה בכפיפה – σ_{y-b}	חוזק גבולי לעומס פועם – σ_o
פלדה פחמנית	$1.15 \cdot \sigma_y$	$0.76 \cdot \sigma_B$
פלדות מסג	$1.15 \cdot \sigma_y$	$0.60 \cdot \sigma_B$
יצקת פלדה	$1.15 \cdot \sigma_y$	$0.60 \cdot \sigma_B$
יצקת אפורה	---	$0.80 \cdot \sigma_B$
יצקת משיכה	$1.10 \cdot \sigma_y$	$0.72 \cdot \sigma_B$
פליז	$0.65 \cdot \sigma_y$	$0.62 \cdot \sigma_B$
ארד (ברונזה)	$0.68 \cdot \sigma_y$	$0.64 \cdot \sigma_B$
סגסוגת חמרן (אלומיניום)	$0.64 \cdot \sigma_y$	$0.60 \cdot \sigma_B$

חומר גלם לפני עיבוד	טיפול תרמי	מקדם ריכוז מאמצים – k _c	מקדם בטחון – S
יציקת פלדה, יצקת	---	1.6	2 ÷ 3
יציקת פלדה, יצקת	נרמול	1.8	2.5 ÷ 3
עיבוד פלסטי	חיסום והרפיה	1.8	2 ÷ 2.5
עיבוד פלסטי	נרמול	1.8	1.8 ÷ 2
עיבוד פלסטי	צמנוט, וחנקן	1.2	2 ÷ 3

תכן גלגלי שיניים לפי תנאי החוזק להתעייפות

תנאי חוזק להתעייפות

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{280}{m}\right)^3 \cdot \frac{k_a \cdot H_{in} \cdot (1 \pm i) \cdot E_e \cdot k_d}{n_{in} \cdot Z_{in}^2 \cdot \lambda}} \leq [\sigma]$$

(-) תשלובת פנימית



(+) תשלובת חיצונית



MPa	חוזק מגע קיים בהתעייפות	σ
mm	מודול שן (פסיעה)	m
	מקדם מיקום עומס – טבלה 9.7	k_a
kW	הספק נמסר להנעת הממסרת ⁴⁹	H_{in}
	יחס תמסורת	i
MPa	מודול אלסטיות שקול	E_e
	מקדם עומס דינמי – טבלה 9.9	k_d
rpm	מספר סיבובי גלגל מניע	n_{in}
Nmm	מומנט סיבוב ⁵⁰	M_t
	מספר שיני גלגל מניע	Z_{in}
	מקדם רוחב שן	λ
	נתון מודול ואורך שן (רוחב גלגל)	$\lambda = \frac{b}{m}$

לא ניתן לחשב, הנח: $\lambda = 10$

⁴⁹ אם הגלגל המניע מחובר ליותר מצרכן אחד ונתון הספק לכל צרכן – זהו סכום הספקי הצרכנים.
⁵⁰ אם הגלגל המניע מחובר ליותר מגלגל אחד – המומנט הוא סכום המומנטים על הגלגל המניע.

מודול שן

$$m = 280 \cdot \sqrt[3]{\frac{k_a \cdot H_{in} \cdot (1 \pm i) \cdot E_e \cdot k_d}{n_{in} \cdot Z_{in}^2 \cdot \lambda \cdot [\sigma]^2}}$$

הספק מרבי

$$H_{in} = \left(\frac{280}{m}\right)^3 \cdot \frac{n_{in} \cdot Z_{in}^2 \cdot \lambda \cdot [\sigma]^2}{k_a \cdot H_{in} \cdot (1 \pm i) \cdot E_e \cdot k_d}$$

מומנט מרבי

$$M_t = \frac{m^3 \cdot \lambda \cdot Z_{in}^2 \cdot [\sigma]}{2.3 \cdot k_a \cdot (1 \pm i) \cdot E_e \cdot k_d}$$

טבלה 9.7 – מקדם מיקום עומס יתר, (k_a)

51

קשיות חומר הגלגל	$\frac{\lambda}{Z_{in}}$	גלגל מחוץ לסמכים	גלגל סימטרי בין הסמכים	גלגל לא סימטרי בין הסמכים
$HB \leq 350 \frac{daN}{mm^2}$	---	1.06	1.00	1.05
$HB > 350 \frac{daN}{mm^2}$	0.2	1.08	1.00	1.05
	0.4	1.15	1.00	1.12
	0.6	1.22	1.03	1.22
	0.8	1.30	1.06	1.28
	1.0	---	1.09	1.34
	1.2	---	1.14	1.40
	1.4	---	1.19	1.45
	1.6	---	1.25	---

⁵¹ לא נתון מיקום הגלגל, הנח הגלגל ממוקם סימטרית בין המסבים.

מודול אלסטיות שקול

52

$$E_e = \frac{2 \cdot E_{in} \cdot E_{out}}{E_{in} + E_{out}}$$

MPa E_e מודול אלסטיות שקול
MPa E_{in} מודול אלסטיות גלגל מניע
MPa E_{out} מודול אלסטיות גלגל מונע

טבלה 9.8 – המרת ערכי קשיות

רוקוול			וויקס	ברינל
HR _C	HR _B	HR _A	HV	HB $[daN/mm^2]$
66	75.5	84.5	884	701
64	74.0	83.5	822	671
62	72.5	82.5	765	642
60	71.0	81.0	717	613
58	69.0	80.0	672	584
56	67.5	79.0	630	561
54	66.0	78.0	592	536
52	64.5	77.0	556	512
50	63.0	76.0	523	488
48	61.5	74.5	493	464
46	60.0	73.5	465	442
44	58.5	72.5	440	419
42	57.0	71.5	417	398
40	55.5	70.5	396	377
38	54.0	69.5	376	357
36	52.5	68.5	357	337
34	50.5	67.5	339	318
32	49.0	66.5	321	301
30	47.5	65.5	304	286
28	46.0	64.5	228	272

טבלה 9.9 – מקדם עומס דינמי, (k_d)

$$v_{in} = \frac{\pi \cdot m \cdot Z_{in} \cdot n_{in}}{60000}$$

v_{in} מהירות הקפית
לא נתון מודול שן, **הנח**: $v_{in} = 5 \frac{m}{sec}$
 m מודול שן
 Z_{in} מספר שיני גלגל מניע
 n_{in} מספר סיבובי גלגל מניע
mm
rpm

מהירות הקפית $v [m/sec]$			קשיות שן	דרגת דיוק שיניים ⁵³
$8 \div 12$	$3 \div 8$	$1 \div 3$	HB $[daN/mm^2]$	
1.3	1.2	1	≤ 350	גבוהה
1.3	1.2	1	> 350	
1.5	1.4	1.2	≤ 350	בינונית
1.4	1.3	1.2	> 350	
---	1.55	1.3	≤ 350	נמוכה
---	1.4	1.3	> 350	

מקדם אורך חיים, (k_N)

$$k_N = 2.2 \cdot (60 \cdot x \cdot n_{in} \cdot L_h)^{-0.05}$$

k_N מקדם אורך חיים
 x מספר נקודות שילוב שיניים בסיבוב שלם
לזוג גלגלי שיניים נקודת שילוב אחת
 n_{in} מספר סיבובי גלגל מניע
 L_h אורך חיי גלגל בשעות עבודה
rpm
h

⁵³ דרגת דיוק שיניים אינה נתונה, **הנח** דרגת דיוק בינונית.

מאמץ מותר להתעיפות

לא נתון מאמץ מותר להתעיפות

$$[\sigma] = \frac{\sigma_S \cdot k_N \cdot k_R}{S}$$

$[\sigma]$ מאמץ מותר להתעיפות MPa
 σ_S חוזק מגע גבולי בהתעיפות – לא נתון, טבלה 9.10 MPa
 k_N מקדם אורך חיים – טבלה 9.11
 k_R מקדם אמינות – טבלה 9.11
 S מקדם בטחון – לא נתון, טבלה 9.11

טבלה 9.10 – חוזק גבולי בהתעיפות, (σ_S)

σ_S [MPa]	קשיות השיניים		טיפול תרמי	חומר הגלגל
	HB [daN/mm ²]	HR _c		
$2.8 \cdot HB - 80$	≤ 360		חיסום והרפיה	פלדות פחמן ופלדות מסג:
24 HR _c		40 ÷ 60		SAE 1040; C40 ; C45;
24 HR _c		50 ÷ 55	חיסום שטחי	40Cr4; 45CrNi6; 50 cr4;
22 HR _c		46 ÷ 60	חנקון	SAE4140; SAE 4340
24 HR _c		55 ÷ 60	צמנט	פלדות פחמן ופלדות מסג לצמנט:
			חיסום	C15; C22; 15Mn5;
25 HR _c		55 ÷ 65	צמנט	פלדות מסג בעלות סגסוג גבוה:
			חיסום	MnCr5; X10Cr13; 20
$2.8 \cdot HB$	175 ÷ 200			יצקת אפורה (כל הסוגים)
$2.4 \cdot HB + 130$	140 ÷ 270		ריפוי	יצקת כדורית

טבלה 9.11 – מקדם אמינות, (k_R) ומקדם בטחון, (S)

S	טיפול תרמי	k_R	דרגת אמינות ⁵⁴
1.1	חיסום והרפיה	1.18	0.9
		1.00	0.99
1.2	צמנט, חנקון, חיסום שטחי	0.80	0.999
		0.60	0.9999

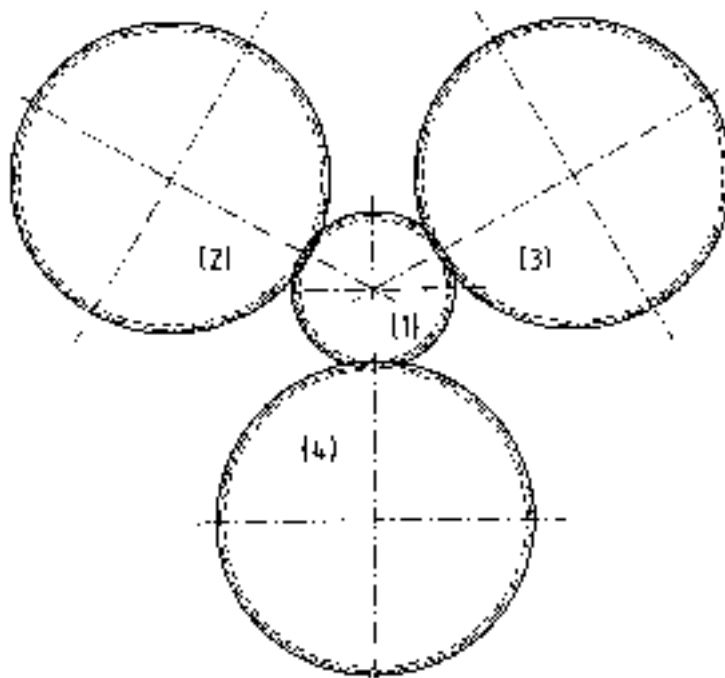
⁵⁴ אינה נתונה, הנח: 0.99

דוגמה 15

גלגל שיניים בעל שיניים ישרות ① מעביר הספק 30 kW לשלושה צרכנים (גלגלי שיניים ②, ③, ④) בחלוקה שווה. קוטרי הגלגלים זהים. הגלגל המניע מסתובב 1500 rpm.

נתונים:

$i = 1:2$	יחס התמסורת לכל צרכן
$E_e = 200000 \text{ MPa}$	מודול אלסטיות
$HB = 300 \text{ MPa}$	קשיות גלגל מניע
$[\sigma_b] = 140 \text{ MPa}$	מאמץ מותר לכפיפה
$\lambda = 10$	מקדם רוחב שן
0.9	דרגת אמינות
$L_h = 10000 \text{ h}$	אורך חיי תמסורת
$Z_{in} = 17$	מספר שיני גלגל מניע



חשבו את מודול גלגלי השיניים הדרוש לאורך חיים ובדקו את עמידת השן בתנאי החוזק לכפיפה.

פתרון דוגמה 15

$$m = 280 \cdot \sqrt[3]{\frac{k_a \cdot H_{in} \cdot (1 \pm i) \cdot E_e \cdot k_d}{n_{in} \cdot Z_{in}^2 \cdot \lambda \cdot [\sigma]^2}}$$

הנחה הגלגל ממוקם סימטרית בין המסבים, מטבלה 9.7.

$$k_a = 1$$

$$H_{in} = 30 \text{ kW}$$

$$i = \frac{1}{2}$$

$$E_e = 200000 \text{ MPa}$$

$$v_{in} = 5 \frac{m}{sec} \text{ הנחה: לא נתון מודול שן,}$$

מטבלה 9.9 עבור דרגת דיוק בינונית

$$k_d = 1.4$$

$$n_{in} = 1500 \text{ rpm}$$

$$Z_{in} = 17$$

$$\lambda = 10$$

לא נתון מאמץ מותר להתעייפות

$$[\sigma] = \frac{\sigma_S \cdot k_N \cdot k_R}{S}$$

$$\sigma_S = 2.8 \cdot HB - 80 = 2.8 \cdot 3000 - 80 = 760 \text{ MPa}$$

לגלגל המניע 3 נקודות שילוב עם שלושת הצרכנים

$$x = 3$$

$$k_N = 2.2 \cdot (60 \cdot x \cdot n_{in} \cdot L_h)^{-0.05} = 2.2 \cdot (60 \cdot 3 \cdot 1500 \cdot 10000)^{-0.05} = 0.743$$

המשך בעמוד הבא

דוגמה 15 – המשך מעמוד קודם

עבור דרגת אמינות 0.9 מטבלה 9.11

$$k_R = 1.18 ; S = 1.1$$

$$[\sigma] = \frac{760 \cdot 0.743 \cdot 1.18}{1.1} = 606 \text{ MPa}$$

לא נתון מאמץ מותר להתעייפות

$$[\sigma] = \frac{\sigma_S \cdot k_N \cdot k_R}{S}$$

$$\sigma_S = 2.8 \cdot \text{HB} - 80 = 2.8 \cdot 3000 - 80 = 760 \text{ MPa}$$

לגלגל המניע 3 נקודות שילוב עם שלושת הצרכנים

$$x = 3$$

$$k_N = 2.2 \cdot (60 \cdot x \cdot n_{in} \cdot L_h)^{-0.05} = 2.2 \cdot (60 \cdot 3 \cdot 1500 \cdot 10000)^{-0.05} = 0.743$$

עבור דרגת אמינות 0.9 מטבלה 9.11

$$k_R = 1.18 ; S = 1.1$$

$$[\sigma] = \frac{760 \cdot 0.743 \cdot 1.18}{1.1} = 606 \text{ MPa}$$

$$m = 280 \cdot \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 30 \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\right) \cdot 200000 \cdot 1.4}{1500 \cdot 17^2 \cdot 10 \cdot 606^2}} = 5.58 \text{ mm}$$

נבחר מטבלה 9.1 מודול תקני $m = 6 \text{ mm}$.

המשך בעמוד הבא

דוגמה 15 – המשך מעמוד קודם

עמידת השן בתנאי החוזק לכפיפה

$$\sigma_b = \left(\frac{265}{m} \right)^3 \cdot \frac{k_o \cdot H_{in}}{n_{in} \cdot \lambda \cdot Z_{in} \cdot Y \cdot k_V \cdot k_\varepsilon} \leq [\sigma_b]$$

$$m = 6 \text{ mm}$$

לא נתון, הנח: מקור ההספק אחיד עומס בצרכן ההספק אחיד

$$k_o = 1$$

$$H_{in} = 30 \text{ kW}$$

$$n_{in} = 1500 \text{ rpm}$$

$$Z_{in} = 17$$

$$\lambda = 10$$

מטבלה 9.4 – מקדם לואיס

$$Y = 0.303$$

מאחר והנחנו מהירות הקפית נחשב את המהירות ההיקפית בפועל

$$v_{in} = \frac{\pi \cdot m \cdot Z_{in} \cdot n_{in}}{60000} = \frac{\pi \cdot 4 \cdot 17 \cdot 1500}{60000} = 5.34 \frac{m}{s}$$

$$k_V = \frac{50}{50 + \sqrt{200 \cdot v_{in}}} = \frac{50}{50 + \sqrt{200 \cdot 5.34}} = 0.605$$

$$k_\varepsilon = 0.9 \cdot \left(1.88 - 3.2 \cdot \frac{1+i}{Z_{in}} \right) = 0.9 \cdot \left(1.88 - 3.2 \cdot \frac{1+\frac{1}{2}}{17} \right) = 1.44$$

$$\sigma_b = \left(\frac{265}{6} \right)^3 \cdot \frac{1 \cdot 30}{1500 \cdot 10 \cdot 17 \cdot 0.303 \cdot 0.605 \cdot 1.44} \cong 40 \text{ MPa} < [\sigma_b] = 140 \text{ MPa}$$

מסקנה: שיני הגלגל עומדות בתנאי החוזק לכפיפה.

10. ממסרת גלגלי שיניים משופעות

גלגל שיניים משופע, הוא בעל אורך שן גדול יותר, דבר המאפשר להגדיל את ההספק המועבר באמצעותו. אפשר לסדר זוג גלגלי שיניים בצורה מקבילה או מוצלבת (התנועה מועברת בין שני צירים שאינם מקבילים והזווית ביניהם תלויה בזווית שיפוע השיניים ובסכום זוויות הגלגלים). בגלגל שיניים סליליים פועלים כוחות רדיאליים וציריים. השילוב הזה של כוחות נגרם בגלל הזווית של השיניים. כאשר מתכננים מנגנון הנעה יש לקחת בחשבון את שני הכוחות הללו בעת בחירת המסבים.



$$H_{out} = H_{in} \cdot \eta$$

נפילות ממסרת

הספק נמסר להנעת הממסרת ⁵⁵ kW
הספק נדרש להנעת מכלול מבצע (צרכן המערכת) kW

⁵⁵ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) לסימון המושג הספק הוא יחליף את השימוש באות H.

יחס תמסורת

$$i = \frac{n_{out}}{n_{in}} = \frac{M_{t_{in}}}{M_{t_{out}}} \cdot \eta = \frac{Z_{in}}{Z_{out}}$$

		יחס תמסורת	i
rpm	מספר סיבובים <u>נמסר</u> להנעת הממסרת	n_{in}	
rpm	מספר סיבובי גל מוצא הממסרת	n_{out}	
		יחס תמסורת	i
Nmm	מומנט סיבוב במוצא הממסרת	$M_{t_{out}}$	
Nmm	מומנט סיבוב במבוא הממסרת	$M_{t_{in}}$	
		נצילות ממסרה	η
		יחס תמסורת	i
mm	מספר שיני גלגל מניע	Z_{in}	
mm	מספר שיני גלגל מונע	Z_{out}	

מידות יסוד

מודול שן חזיתי

$$m_s = \frac{m_n}{\cos \beta}$$

mm	מודול שן חזיתי – מצחי	m_s
mm	מודול שן נורמלי (פסיעה)	m_n
°	זווית שיפוע השן	β

קוטר מעל חלוקה

$$D = m_s \cdot Z$$

mm	קוטר מעגל חלוקה	D
mm	מודול שן חזיתי – מצחי (פסיעה)	m_s
mm	מספר שיני הגלגל	Z

קוטר מעגל ראשים

$$D_e = m_s \cdot (Z + 2 \cdot \cos \beta)$$

mm	קוטר מעגל הראשים	D_e
mm	מודול שן חזיתי – מצחי (פסיעה)	m_s
mm	מספר שיני הגלגל	Z

מעגל עיקריים

$$D_i = m_s \cdot (Z + 2.5 \cdot \cos \beta)$$

mm	קוטר מעגל העיקריים	D_i
mm	מודול שן חזיתי – מצחי (פסיעה)	m_s
mm	מספר שיני הגלגל	Z

אורך שן (רוחב גלגל)

$$b = \lambda \cdot m_n$$

mm	אורך שן (רוחב גלגל)	b
mm	מודול שן נורמלי (פסיעה)	m_n
	מקדם אורך שן	λ
	לא ניתן לחשב, הנח : $\lambda = 10$	

מרחק בין גלגלים

$$A = \frac{m_s \cdot (Z_1 \pm Z_2)}{2} = \frac{m_s \cdot Z_1 \left(1 \pm \frac{1}{i}\right)}{2} = \frac{D_1 \pm D_2}{2}$$

mm	A	מרחק בין מרכזי הגלגלים
mm	m_s	מודול שן חזיתי – מצחי (פסיעה)
mm	D_1	קוטר מעגל חלוקה גלגל מניע
mm	D_2	קוטר מעגל חלוקה גלגל מונע
	Z_1	מספר שיניים גלגל מניע
	Z_2	מספר שיניים גלגל מונע
	i	יחס תמסורת

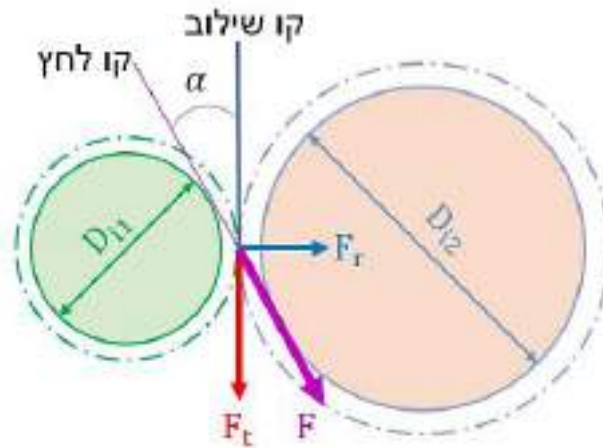
(+) תשלובת חיזונית (-) תשלובת פנימית



טבלה 9.1 – מודולים תקנים לפי תקן ISO

8	6	5	4	3	2.5	2	1.5	1.25	1	מומלץ
9	7	5.5	4.5	3.5	2.75	2.25	1.75	1.375	1.125	עדיפות שנייה
		50	40	32	25	20	16	12	10	מומלץ
			45	36	28	22	18	14	11	עדיפות שנייה

כוחות שילוב בשן בודדת



כוח הקפי (משיקי)

$$F_t = \frac{2 \cdot M_{t \text{ in}}}{D_1} = \frac{2 \cdot M_{t \text{ in}} \cdot \cos \beta}{m_n \cdot Z_{in}} = \frac{19.1 \cdot 10^6 \cdot H_{in} \cdot \cos \beta}{n_{in} \cdot m_n \cdot Z_{in}}$$

N	כוח הקפי ⁵⁶	F_t
Nmm	מומנט נמסר להנעת הממסרת	$M_{t \text{ in}}$
mm	קוטר מעגל חלוקה גלגל מניע	D_{in}
kW	הספק נמסר להנעת הממסרת ⁵⁷	H_{in}
rpm	מספר סיבובים נמסר להנעת המערכת	n_{in}
mm	מודול שן נורמלי (פסיעה)	m_n
	מספר שיני גלגל מניע	Z_{in}
°	זווית שיפוע השן	β

כוח רדיאלי

$$F_r = F_t \cdot \frac{\tan \alpha}{\cos \beta} = \frac{2 \cdot M_{t \text{ in}} \cdot \tan \alpha}{m_n \cdot Z_{in}}$$

N	כוח רדיאלי ⁵⁸	F_r
°	זווית שילוב (זווית לחץ)	α
°	זווית שיפוע השן	β

⁵⁶ כוח המועבר משן גלגל מניע הגורם לדחיפת שן הגלגל המונע.

⁵⁷ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) לסימון המושג **הספק** הוא יחליף את השימוש באות H.

⁵⁸ נדרש ליצירת נקודה/ות השקה בין מעגלי החלוקה של שני גלגלי השיניים.

כוח צירי

$$F_a = F_t \cdot \tan \beta = \frac{2 \cdot M_{tin} \cdot \sin \beta}{m_n \cdot Z_{in}}$$

F_a כוח צירי⁵⁹
N
° β זווית שיפוע השן

כוח שקול

$$F = \frac{F_t}{\cos \alpha} = F_t \cdot \sqrt{1 + \frac{\tan^2 \alpha}{\cos^2 \beta}}$$

F כוח שקול
N
 F_t כוח הקפי

⁵⁹ פועל לאורך ציר הגלגל.

תכן גלגלי שיניים לפי תנאי החוזק לכפיפה

תנאי חוזק לכפיפה

$$\sigma_b = \left(\frac{265 \cdot \cos \beta}{m_n} \right)^3 \cdot \frac{k_o \cdot H_{in}}{n_{in} \cdot \lambda \cdot Z_{in} \cdot Y \cdot k_V \cdot k_\epsilon} \leq [\sigma_b]$$

MPa	מאמץ כפיפה מתפתח בשן הגלגל	σ_b
°	זווית שיפוע השן	β
mm	מודול שן (פסיקה)	m_n
	מקדם עומס יתר (מקדם תנאי עבודה)	k_o
	לא נתון, קבע מטבלה 9.3	
kW	הספק נמסר להנעת הממסרת ⁶⁰	H_{in}
rpm	מספר סיבובי גלגל מניע	n_{in}
	מקדם רוחב שן	λ
	נתון מודול ואורך שן (רוחב גלגל)	
	לא ניתן לחשב, הנח: $\lambda = 10$	
	מספר שיני גלגל מניע	Z_{in}
	מקדם צורת שן (לואיס) – טבלה 10.1	Y
	מקדם חלוקת עומס בין השיניים	k_ϵ
	מקדם מהירות – טבלה 10.2	k_V
MPa	מאמץ מותר לכפיפה	$[\sigma_b]$
Nmm	מומנט סיבוב ⁶¹	M_t

⁶⁰ אם הגלגל המניע מחובר ליותר מצרכן אחד ונתון הספק לכל צרכן – חשב את סכום הספקי הצרכנים.
⁶¹ אם הגלגל המניע מחובר ליותר מגלגל אחד – המומנט הוא סכום המומנטים על הגלגל המניע.

מודול שן

$$m_n = 265 \cdot \cos \beta \cdot \sqrt[3]{\frac{k_o \cdot H_{in}}{n_{in} \cdot \lambda \cdot Z_{in} \cdot Y \cdot k_v \cdot k_\varepsilon \cdot [\sigma_b]}}$$

הספק מרבי

$$H_{in} = \left(\frac{m_n}{265 \cdot \cos \beta} \right)^3 \cdot \frac{n_{in} \cdot \lambda \cdot Z_{in} \cdot Y \cdot k_v \cdot k_\varepsilon \cdot [\sigma_b]}{k_o}$$

מומנט מרבי

$$M_t = \frac{m_n^3 \cdot \lambda \cdot Z_{in} \cdot Y \cdot k_v \cdot k_\varepsilon \cdot [\sigma_b]}{2 \cdot k_o \cdot \cos^3 \beta}$$

טבלה 9.3 – מקדם עומס יתר (k_o)

עומס בצרכן ההספק

מקור ההספק ⁶²	אחיד	חבטות	חבטות קשות
אחיד	1	1.25	> 1.75
חבטות קלות	1.25	1.5	> 2
חבטות	1.5	1.75	> 2.25

טבלה 10.1 – מקדם צורת שן לואיס, (Y)

מספר שיניים מתוקן

$$Z_k = \frac{Z_{in}}{\cos^3 \beta}$$

Z_k מספר שיניים מתוקן
 Z_{in} מספר שיני גלגל מניע
 β זווית שיפוע השן

מקדם צורת שן (לואיס) – Y

Z_k	Y	Z_k	Y
12	0.245	28	0.353
13	0.261	30	0.359
14	0.277	34	0.371
15	0.290	38	0.384
16	0.296	43	0.397
17	0.303	50	0.409
18	0.309	60	0.422
19	0.314	75	0.435
20	0.322	100	0.447
21	0.328	150	0.460
22	0.331	300	0.472
24	0.337	400	0.480
26	0.346	≥ 500	0.486

⁶² לא נתון, הנח: מקור ההספק אחיד עומס בצרכן ההספק אחיד.

טבלה 10.2 – מקדם מהירות, (k_v)

$$v_{in} = \frac{\pi \cdot m_n \cdot Z_{in} \cdot n_{in}}{60000}$$

v_{in} מהירות הקפית
לא נתון מודול שן, **הנח**: $v_{in} = 5 \frac{m}{sec}$
 m_n מודול שן (פסיעה) mm
 Z_{in} מספר שיני גלגל מניע
 n_{in} מספר סיבובי גלגל מניע rpm

k_v	צורת עיבוד השיניים ⁶³
$\frac{3}{3 + v_{in}}$	יציקה
$\frac{6}{6 + v_{in}}$	עיבוד פלסטי
$\frac{50}{50 + \sqrt{200 \cdot v_{in}}}$	עיבוד שבבי
$\frac{78}{78 + \sqrt{200 \cdot v_{in}}}$	השחזה

⁶³ צורת עיבוד השיניים אינה נתונה, הנח – עיבוד שבבי

מקדם חלוקת עומס בין השיניים, (k_ε)

$$k_\varepsilon = 0.9 \cdot \left[1.88 - 3.2 \cdot \left(\frac{1}{Z_{in}} \pm \frac{1}{Z_{out}} \right) + \frac{\lambda \cdot \sin \beta}{\pi} \right]$$

$$k_\varepsilon = 0.9 \cdot \left(1.88 - 3.2 \cdot \frac{1 \pm i}{Z_{in}} + \frac{\lambda \cdot \sin \beta}{\pi} \right)$$

k_ε מקדם חלוקת עומס בין השיניים

Z_{in} מספר שיני גלגל מניע

Z_{out} מספר שיני גלגל מונע

λ מקדם רוחב שן

$\lambda = \frac{b}{m}$ נתון מודול ואורך שן (רוחב גלגל)

לא ניתן לחשב, **הנח**: $\lambda = 10$

β זווית שיפוע השן

i יחס תמסורת

(-) תשלובת פנימית



(+) תשלובת חיצונית



מאמץ מותר לכפיפה

לא נתון מאמץ מותר לכפיפה

$$[\sigma_b] = \frac{\sigma_o}{S \cdot k_C}$$

MPa	מאמץ מותר לכפיפה	$[\sigma_b]$
MPa	חוזק גבולי לעומס פועם	σ_o
	לא נתון, העזר בטבלה 17	
	S מקדם בטחון	
	לא נתון, העזר בטבלה 17	
	k _C מקדם ריכוז מאמצים	
	לא נתון, העזר בטבלה 17	
MPa	מאמץ מרבי למתיחה	σ_B
MPa	מאמץ כניעה במתיחה	σ_y

טבלה 10.3

סוג חומר	מאמץ כניעה בכפיפה – σ_{y-b}	חוזק גבולי לעומס פועם – σ_o
פלדה פחמנית	$1.15 \cdot \sigma_y$	$0.76 \cdot \sigma_B$
פלדות מסג	$1.15 \cdot \sigma_y$	$0.60 \cdot \sigma_B$
יצקת פלדה	$1.15 \cdot \sigma_y$	$0.60 \cdot \sigma_B$
יצקת אפורה	---	$0.80 \cdot \sigma_B$
יצקת משיכה	$1.10 \cdot \sigma_y$	$0.72 \cdot \sigma_B$
פליז	$0.65 \cdot \sigma_y$	$0.62 \cdot \sigma_B$
ארד (ברונזה)	$0.68 \cdot \sigma_y$	$0.64 \cdot \sigma_B$
סגסוגת חמרן (אלומיניום)	$0.64 \cdot \sigma_y$	$0.60 \cdot \sigma_B$

חומר גלם לפני עיבוד	טיפול תרמי	מקדם ריכוז מאמצים - k_C	מקדם בטחון - S
יציקת פלדה, יצקת	---	1.6	$2 \div 3$
יציקת פלדה, יצקת	נרמול	1.8	$2.5 \div 3$
עיבוד פלסטי	חיסום והרפיה	1.8	$2 \div 2.5$
עיבוד פלסטי	נרמול	1.8	$1.8 \div 2$
עיבוד פלסטי	צמנוט, וחנוקון	1.2	$2 \div 3$

תכן גלגלי שיניים לפי תנאי החוזק להתעייפות

תנאי חוזק להתעייפות

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{280 \cdot \cos^2 \beta}{m_n}\right)^3 \cdot \frac{k_a \cdot H_{in} \cdot (1 \pm i) \cdot E_e \cdot k_d}{n_{in} \cdot Z_{in}^2 \cdot \lambda}} \leq [\sigma]$$

(-) תשלובת פנימית



(+) תשלובת חיצונית



MPa	חוזק מגע קיים בהתעייפות	σ
mm	מודול שן (פסיעה)	m_n
°	זווית שיפוע השן	β
	מקדם מיקום עומס – טבלה 4	k_a
kW	הספק נמסר להנעת הממסרת ⁶⁴	H_{in}
	יחס תמסורת	i
MPa	מודול אלסטיות שקול	E_e
	מקדם עומס דינמי – טבלה 6	k_d
rpm	מספר סיבובי גלגל מניע	n_{in}
Nmm	מומנט סיבוב ⁶⁵	M_t
	מספר שיני גלגל מניע	Z_{in}
	מקדם רוחב שן	λ

$$\lambda = \frac{b}{m_n} \quad \text{נתון מודול ואורך שן (רוחב גלגל)}$$

לא ניתן לחשב, הנח: $\lambda = 10$

⁶⁴ אם הגלגל המניע מחובר ליותר מצרכן אחד ונתון הספק לכל צרכן – זהו סכום הספקי הצרכנים.
⁶⁵ אם הגלגל המניע מחובר ליותר מגלגל אחד – המומנט הוא סכום המומנטים על הגלגל המניע.

מודול שן

$$m = 280 \cdot \cos^2 \beta \cdot \sqrt[3]{\frac{k_a \cdot H_{in} \cdot (1 \pm i) \cdot E_e \cdot k_d}{n_{in} \cdot Z_{in}^2 \cdot \lambda \cdot [\sigma]^2}}$$

הספק מרבי

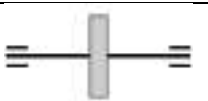
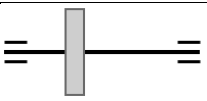
$$H_{in} = \left(\frac{280 \cdot \cos^2 \beta}{m} \right)^3 \cdot \frac{n_{in} \cdot Z_{in}^2 \cdot \lambda \cdot [\sigma]^2}{k_a \cdot H_{in} \cdot (1 \pm i) \cdot E_e \cdot k_d}$$

מומנט מרבי

$$M_t = \frac{m^3 \cdot \lambda \cdot Z_{in} \cdot Y \cdot k_v \cdot k_\varepsilon \cdot [\sigma_b]}{2 \cdot k_o \cdot (\cos^2 \beta)^3}$$

טבלה 9.7 – מקדם מיקום עומס יתר, (k_a)

66

קשיות חומר הגלגל	$\frac{\lambda}{Z_{in}}$	גלגל מחוץ לסמכים	גלגל סימטרי בין הסמכים	גלגל לא סימטרי בין הסמכים
				
$HB \leq 350 \frac{daN}{mm^2}$	---	1.06	1.00	1.05
$HB > 350 \frac{daN}{mm^2}$	0.2	1.08	1.00	1.05
	0.4	1.15	1.00	1.12
	0.6	1.22	1.03	1.22
	0.8	1.30	1.06	1.28
	1.0	---	1.09	1.34
	1.2	---	1.14	1.40
	1.4	---	1.19	1.45
	1.6	---	1.25	---

מודול אלסטיות שקול

67

$$E_e = \frac{2 \cdot E_{in} \cdot E_{out}}{E_{in} + E_{out}}$$

E_e מודול אלסטיות שקול MPa
 E_{in} מודול אלסטיות גלגל מניע MPa
 E_{out} מודול אלסטיות גלגל מונע MPa

⁶⁶ לא נתון מיקום הגלגל, הנח הגלגל ממוקם סימטרית בין המסבים.
⁶⁷ נשתמש בנוסחה רק כאשר חומרי הגלגלים אינם זהים.

טבלה 10.4 – מקדם עומס דינמי, (k_d)

$$v_{in} = \frac{\pi \cdot m_n \cdot Z_{in} \cdot n_{in}}{60000}$$

v_{in} מהירות הקפית
לא נתון מודול שן, **הנח**: $v_{in} = 5 \frac{m}{sec}$
 m_n מודול שן
 Z_{in} מספר שיני גלגל מניע
 n_{in} מספר סיבובי גלגל מניע
mm
rpm

מהירות הקפית $v [m/sec]$					קשיות שן	דרגת דיוק שיניים ⁶⁸
> 18	12 ÷ 18	8 ÷ 12	3 ÷ 8	1 ÷ 3	HB $[daN/mm^2]$	
1.3	1.2	1.1	1	1	≤ 350	גבוהה
1.2	1.1	1.0	1	1	> 350	
1.4	1.3	1.2	1	1	≤ 350	בינונית
1.3	1.2	1.1	1	1	> 350	
---	---	1.4	1.3	1.1	≤ 350	נמוכה
---	---	1.3	1.2	1.1	> 350	

מקדם אורך חיים, k_N

$$k_N = 2.2 \cdot (60 \cdot x \cdot n_{in} \cdot L_h)^{-0.05}$$

k_N מקדם אורך חיים
 x מספר נקודות שילוב שיניים בסיבוב שלם
לזוג גלגלי שיניים נקודת שילוב אחת
 n_{in} מספר סיבובי גלגל מניע
 L_h אורך חיי גלגל בשעות עבודה
rpm
h

⁶⁸ דרגת דיוק שיניים אינה נתונה, הנח דרגת דיוק בינונית.

מאמץ מותר להתעייפות

לא נתון מאמץ מותר להתעייפות

$$[\sigma] = \frac{\sigma_S \cdot k_N \cdot k_R}{S}$$

$[\sigma]$ מאמץ מותר להתעייפות MPa
 σ_S חוזק מגע גבולי בהתעייפות – לא נתון, טבלה 9.10 MPa
 k_N מקדם אורך חיים – טבלה 9.11
 k_R מקדם אמינות – טבלה 9.11
 S מקדם בטחון – לא נתון, טבלה 9.11

טבלה 9.10 – חוזק גבולי בהתעייפות, (σ_S)

σ_S [MPa]	קשיות השיניים		טיפול תרמי	חומר הגלגל
	HB [daN/mm ²]	HR _c		
$2.8 \cdot HB - 80$	≤ 360		חיסום והרפיה	פלדות פחמן ופלדות מסג:
24 HR _c		40 ÷ 60		SAE 1040; C40 ; C45;
24 HR _c		50 ÷ 55	חיסום שטחי	40Cr4; 45CrNi6; 50 cr4;
22 HR _c		46 ÷ 60	חנקן	SAE4140; SAE 4340
24 HR _c		55 ÷ 60	צמנט	פלדות פחמן ופלדות מסג לצמנט:
			חיסום	C15; C22; 15Mn5;
25 HR _c		55 ÷ 65	צמנט	פלדות מסג בעלות סגסוג גבוה:
			חיסום	MnCr5; X10Cr13; 20
$2.8 \cdot HB$	175 ÷ 200			יצקת אפורה (כל הסוגים)
$2.4 \cdot HB + 130$	140 ÷ 270		ריפוי	יצקת כדורית

טבלה 9.11 – מקדם אמינות, (k_R) ומקדם בטחון, (S)

S	טיפול תרמי	k_R	דרגת אמינות ⁶⁹
1.1	חיסום והרפיה	1.18	0.9
		1.00	0.99
1.2	צמנט, חנקן, חיסום שטחי	0.80	0.999
		0.60	0.9999

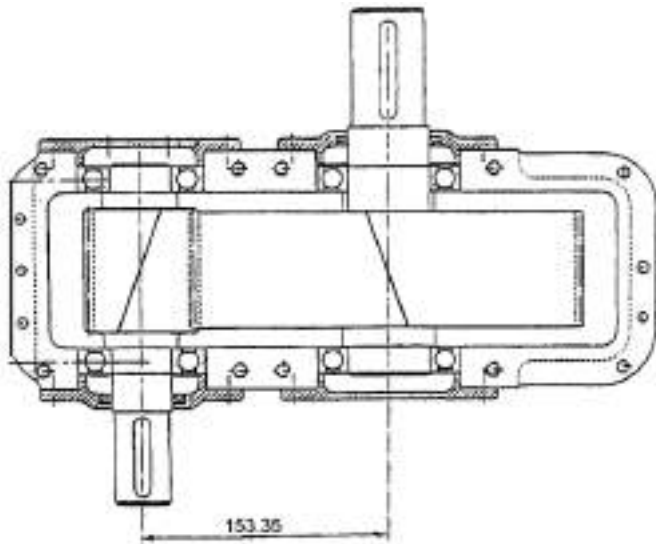
⁶⁹ אינה נתונה, הנח: 0.99

דוגמה 16

באיור לשאלה מוצג מפחית סיבובים הבנוי על בסיס ממסרת גלגלי שיניים בעלת שיניים משופעות, המעבירה הספק 25 kW. הגלגל המניע של הממסרת מסתובב 1000 rpm ומיוצר בעיבוד שבבי מפלדה SAE 1040.

נתונים:

$2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$	מודול אלסטיות של חומר הגלגלים
$340 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$	קשיות ברינל גלגל המניע
$b = 60 \text{ mm}$	רוחב גלגלים
$\alpha = 20^\circ$	זווית לחץ
$m_n = 5 \text{ mm}$	מודול נורמלי של השיניים
$Z_{in} = 15 \text{ mm}$	מספר שיני גלגל מניע
$i = 1:3$	יחס תמסורת
0.99	דרגת אמינות דרושה
153.35 mm	המרחק בין צירי הגלגלים

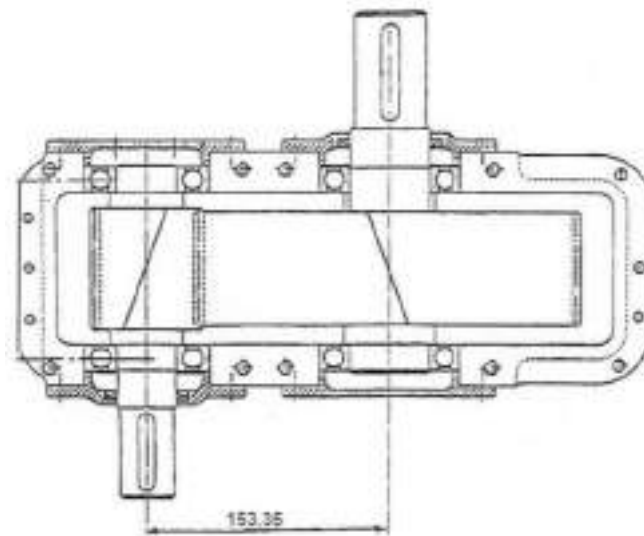


דרוש:

א. זווית שיפוע השן.

ב. אורך חיים משוער של הממסרת.

פתרון דוגמה 16



א. זווית שיפוע השן

$$A = 0.5 \cdot m_s \cdot (Z_1 + Z_2)$$

$$i = \frac{Z_1}{Z_2}$$

$$\frac{1}{3} = \frac{15}{Z_2} \rightarrow Z_2 = 45$$

$$153.35 = 0.5 \cdot m_s \cdot (15 + 45)$$

$$m_s = 5.112 \text{ mm}$$

$$m_s = \frac{m_n}{\cos \beta}$$

$$5.112 = \frac{5}{\cos \beta}$$

$$\beta = 12^\circ$$

דוגמה 16 המשך מעמוד קודם

ב. אורך חיים משוער של הממסרת

הנחה: חוזק מגע גבולי מותב בהתעייפות = לחוזק המגע להתעייפות המתפתח בשיני הגלגל.

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{280 \cdot \cos \beta^2}{m_n}\right)^3 \cdot \frac{k_a \cdot H_{in} \cdot (1 \pm i) \cdot E_e \cdot k_d}{n_{in} \cdot Z_{in}^2 \cdot \lambda}} \leq [\sigma]$$

$$m_n = 5 \text{ mm}$$

$$\beta = 12^\circ$$

הגלגל ממוקם בין שני המסבים (טבלה 9.7)

$$k_a = 1$$

$$H_{in} = 25 \text{ kW}$$

$$i = \frac{1}{3}$$

$$E_e = 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$v_{in} = \frac{\pi \cdot m_n \cdot Z_{in} \cdot n_{in}}{60000} = \frac{\pi \cdot 5 \cdot 15 \cdot 1000}{60000} \cong 4 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

טבלה 10.4 עבור דרגת דיוק בינונית

$$k_d = 1$$

$$\lambda = \frac{b}{m_n} = \frac{60}{5} = 12$$

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{280 \cdot \cos 12^\circ}{5}\right)^3 \cdot \frac{1 \cdot 25 \cdot \left(1 + \frac{1}{3}\right) \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 1}{1000 \cdot 15^2 \cdot 12}} = 653 \text{ MPa}$$

דוגמה 16 המשך מעמוד קודם

$$[\sigma] = \frac{\sigma_S \cdot k_N \cdot k_R}{S}$$

$$\sigma_S = 2.8 \cdot \text{HB} - 80 = 2.8 \cdot 340 - 80 = 872 \text{ MPa}$$

מקדם אמינות k_R ⁷⁰, מקדם בטחון S

S	טיפול תרמי	k_R	דרגת אמינות
1.1	חיסום והרפיה	1.18	0.9
		1.00	0.99

$$k_R = 1$$

$$S = 1.1$$

$$653 = \frac{872 \cdot k_N \cdot 1}{1.1}$$

$$k_N = 0.823$$

$$k_N = 2.2 \cdot (60 \cdot x \cdot n_{in} \cdot L_h)^{-0.05}$$

$$0.823 = 2.2 \cdot (60 \cdot 1 \cdot 1000 \cdot L_h)^{-0.05}$$

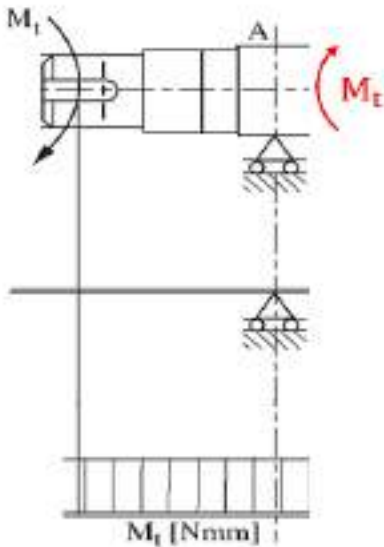
$$L_h = 5785 \text{ h}$$

⁷⁰ דרגת אמינות אינה נתונה, הנח: 0.99

11. תכנון גלים

גל – רכיב מכני שתפקידו העברת הספק מכני סיבובי מחלק אחד המורכב עליו (גלגל) לחלק אחר בו.

פיתול



הגל מעביר מומנט פיתול דרכו. כתוצאה מפעולת מומנט הסיבוב והתנגדות הגלגל לסיבוב נוצרים מאמצי גזירה בחתך הגל שאינם אחידים ומשנים את עוצמתם בהתאם למיקומם ממרכז הסיבוב (מאמץ אפס) ועד לשכבה החיצונית של הגל (מאמץ מרבי).

מאמץ מותר

$$[\tau_t] = 0.65 \cdot \frac{\sigma_y}{S}$$

MPa	מאמץ מותר	לפיתול לחומר הגל	$[\tau_t]$
MPa	מאמץ כניעה של חומר הגל	σ_y	
	מקדם בטיחות לעומס סטטי ⁷¹	S	

מקדם בטחון לעומס סטטי

$$S = \frac{0.65 \cdot \sigma_y}{\tau_t} \geq [S]$$

S	מקדם בטחון נדרש (מותר)	
MPa	מאמץ כניעה של חומר הגל	σ_y
MPa	מאמץ פיתול המתפתח בחומר הגל	τ_t
[S]	מקדם בטחון נדרש (מותר)	

⁷¹ כאשר נדרש לחשב את מקדם הבטחון בחתך גל כלשהו, יש לחשב את מאמץ הפיתול (תנאי חוזק) ולהתייחס אליו כאל המאמץ המרבי.

תנאי חוזק

$$\tau_t = \frac{5 \cdot M_{t_{\max}}}{D^3 \cdot (1 - \alpha^4)} \leq [\tau_t]$$

MPa	מאמץ פיתול ה מתפתח בחומר הגל	τ_t
Nmm	מומנט סיבוב מרכי בגל	$M_{t_{\max}}$
mm	קוטר גל (חיצוני)	D
	יחס קטרים (גל מלא, $\alpha = 0$)	α
	$\alpha = \frac{d}{D}$	

מומנט סיבוב מרכי

$$M_{t_{\max}} = \frac{[\tau_t] \cdot D^3 \cdot (1 - \alpha^4)}{5}$$

קוטר גל נדרש

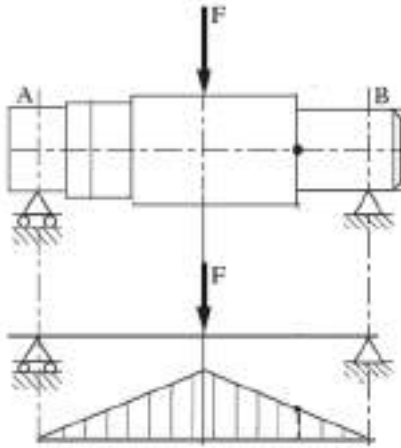
$$D = \sqrt[3]{\frac{5 \cdot M_{t_{\max}}}{[\tau_t] \cdot (1 - \alpha^4)}}$$

זווית פיתול

$$\varphi = \frac{M_t \cdot L \cdot 180}{G \cdot 0.1 \cdot D^3 \cdot (1 - \alpha^4) \cdot \pi}$$

°	זווית פיתול הנוצרת בגל	φ
Nmm	מומנט סיבוב	M_t
mm	אורך הגל	L
MPa	מודול זיחה (גזירה)	G
mm	קוטר גל (חיצוני)	D
	יחס קטרים (גל מלא, $\alpha = 0$)	α
	$\alpha = \frac{d}{D}$	

כפיפה



הגל בהיותו מבנה דק בו מידת האורך גדולה במידה ניכרת מגודל שטח החתך ונתון לפעולת עומס חיצוני הניצב לציר האורך שלו מוטרך לכפיפה.

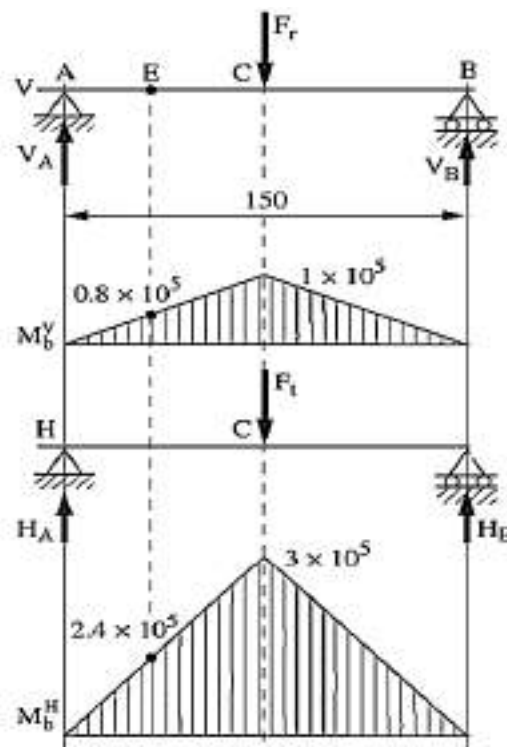
✧ בחתכי המבנה המקבילים לעומס המופעל מתפתחים מאמצי גזירה.

✧ כתוצאה מפעולת מומנט הכפיפה הגורם לשקיעת הגל מתפתחים

מאמצי מתיחה ולחיצה סביב ציר מרכז הכובד של הגל.

מקרה פרטי (כפיפה בשני מישורים):

$$M_{eb} = \sqrt{M_{bv}^2 + M_{bh}^2}$$



$$[\sigma_b] = 1.2 \cdot \frac{\sigma_y}{S}$$

MPa	מאמץ מותר	לכפיפה לחומר הגל	$[\sigma_b]$
MPa	מאמץ כניעה של חומר הגל		σ_y
	מקדם בטיחות לעומס סטטי ⁷²		S

מקדם בטחון לעומס סטטי

$$S = \frac{1.2 \cdot \sigma_y}{\sigma_b} \geq [S]$$

	S	מקדם בטיחות לעומס סטטי
MPa	σ_y	מאמץ כניעה של חומר הגל
MPa	σ_b	מאמץ כפיפה המתפתח בחומר הגל
	[S]	מקדם בטחון נדרש (מותר)

תנאי חוזק

$$\sigma_b = \frac{10 \cdot M_{b_{\max}}}{D^3 \cdot (1 - \alpha^4)} \leq [\sigma_b]$$

MPa	σ_b	מאמץ כפיפה המתפתח בחומר הגל
Nmm	$M_{b_{\max}}$	מומנט כפיפה מרבי בגל
mm	D	קוטר גל (חיצוני)
	α	יחס קטרים (גל מלא, $\alpha = 0$)
	$\alpha = \frac{d}{D}$	

מומנט כפיפה מרבי

$$M_{b_{\max}} = \frac{[\sigma_b] \cdot D^3 \cdot (1 - \alpha^4)}{10}$$

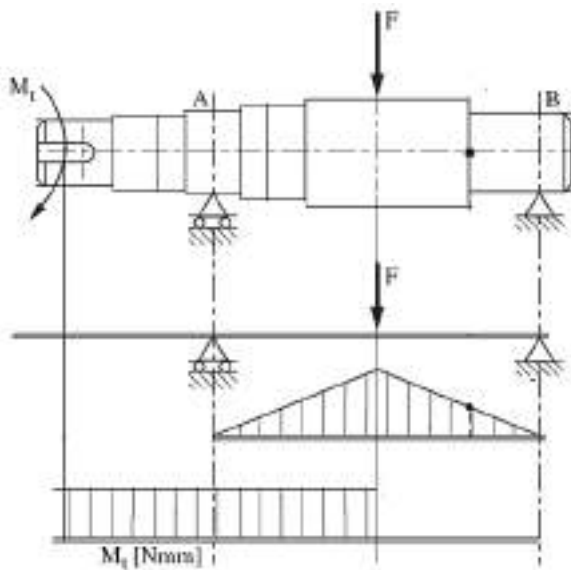
קוטר גל נדרש

$$D = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M_{b_{\max}}}{[\sigma_b] \cdot (1 - \alpha^4)}}$$

⁷² כאשר נדרש לחשב את מקדם הבטחון בחתך גל כלשהו, יש לחשב את מאמץ הפיתול (תנאי חוזק) ולהתייחס אליו כאל המאמץ המרבי.

כפיפה ופיתול

מאמץ מותר



$$[\sigma] = \frac{\sigma_y}{S}$$

MPa	מאמץ מותר	לחומר הגל	$[\sigma]$
MPa	מאמץ כניעה של חומר הגל		σ_y
73	מקדם בטיחות לעומס סטטי		S

מקדם בטחון לעומס סטטי

$$S = \frac{\sigma_y}{\sigma_e} \geq [S]$$

MPa	מאמץ משולב המתפתח	בחומר הגל	σ_e
$[S]$	מקדם בטחון נדרש (מותר)		

מומנט כפיפה שקול

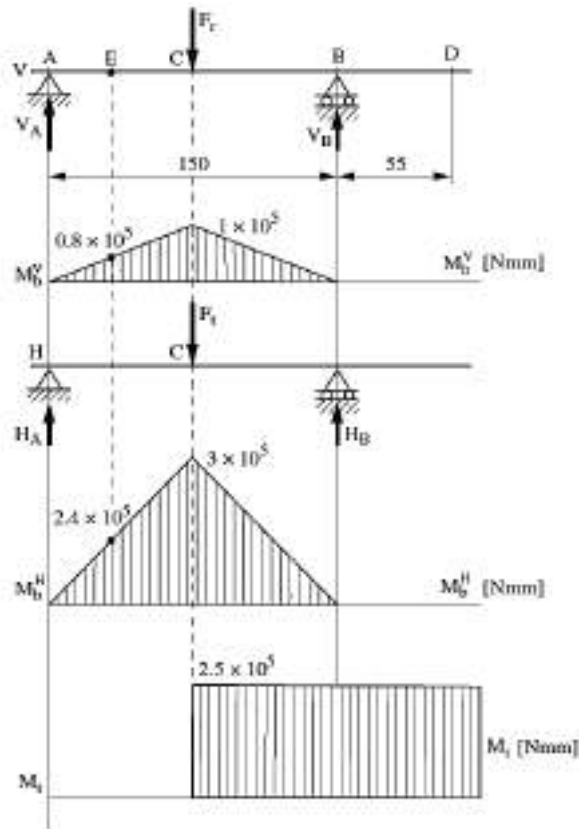
$$M_e = \sqrt{M_b^2 + M_t^2}$$

Nmm	מומנט שקול	M_e
Nmm	מומנט כפיפה	M_b
Nmm	מומנט פיתול	M_t

⁷³ כאשר נדרש לחשב את מקדם הבטחון בחתך גל כלשהו, יש לחשב את מאמץ הפיתול (תנאי חוזק) ולהתייחס אליו כאל המאמץ המרבי.

מקרה פרטי (כפיפה בשני מישורים + פיתול):

$$M_e = \sqrt{M_{bV}^2 + M_{bH}^2 + M_t^2}$$



תנאי חוזק

$$\sigma_e = \frac{10 \cdot M_{e_{\max}}}{D^3 \cdot (1 - \alpha^4)} \leq [\sigma]$$

MPa	מאמץ משולב המתפתח בחומר הגל	σ_e
Nmm	מומנט משולב מרב בגל	$M_{e_{\max}}$
mm	קוטר גל (חיצוני)	D
	יחס קטרים (גל מלא, $\alpha = 0$)	α
	$\alpha = \frac{d}{D}$	

מומנט כפיפה מרבי

$$M_{e_{\max}} = \frac{[\sigma] \cdot D^3 \cdot (1 - \alpha^4)}{10}$$

MPa	מאמץ משולב המתפתח בחומר הגל	σ_e
Nmm	מומנט משולב מרבי בגל	$M_{e_{\max}}$
mm	קוטר גל (חיצוני)	D
	יחס קטרים (גל מלא, $\alpha = 0$)	α
	$\alpha = \frac{d}{D}$	

קוטר גל נדרש

$$D = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M_{e_{\max}}}{[\sigma] \cdot (1 - \alpha^4)}}$$

מקרים מיוחדים

$$\sigma_e = \sqrt{\left[\frac{10 \cdot M_{b_{\max}}}{D^3 \cdot (1 - \alpha^4)} \pm \frac{4 \cdot F_a}{\pi \cdot D^2} \right]^2 + 3 \cdot \left(\frac{5 \cdot M_{t_{\max}}}{D^3 \cdot (1 - \alpha^4)} \right)^2}$$

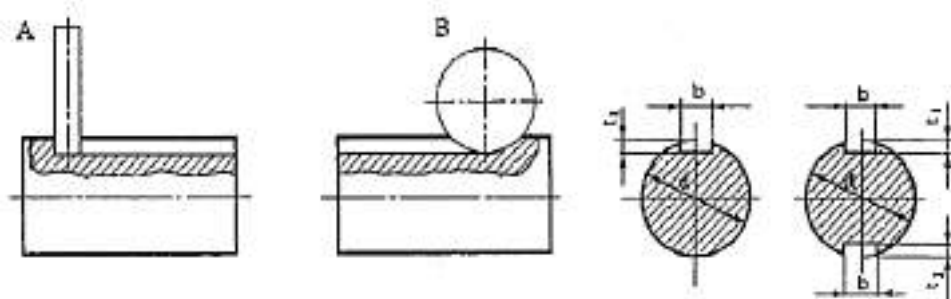
מאמץ שקול מתיחה/לחיצה + כפיפה + פיתול

$$\sigma_e = \frac{10 \cdot M_{b_{\max}}}{D^3 \cdot (1 - \alpha^4)} + \frac{4 \cdot F_a}{\pi \cdot D^2}$$

מאמץ שקול כפיפה + מתיחה/לחיצה

MPa	מאמץ <u>שקול</u> המתפתח בחומר הגל	σ_e
Nmm	מומנט כפיפה <u>מרב</u> בגל	$M_{b_{\max}}$
Nmm	מומנט סיבוב <u>מרב</u> בגל	$M_{t_{\max}}$
N	כוח צירי הפועל על הגל	F_a

מומנט התנגדות חריץ שגם



חוזק σ_B [MPa]	כפיפה, k_C		פיתול k_{C_s}	מודול חתך - Z	
	A	B		שני חריצים	חריץ אחד
500	1.5	1.42	1.4	$Z_b = \frac{\pi \cdot d^3}{32} - \frac{b \cdot t_1 \cdot (d - t_1)^2}{d}$	$Z_b = \frac{\pi \cdot d^3}{32} - \frac{b \cdot t_1 \cdot (d - t_1)^2}{2 \cdot d}$
600	1.63	1.49	1.5		
700	1.75	1.64	1.6	$Z_o = \frac{\pi \cdot d^3}{16} - \frac{b \cdot t_1 \cdot (d - t_1)^2}{d}$	$Z_o = \frac{\pi \cdot d^3}{16} - \frac{b \cdot t_1 \cdot (d - t_1)^2}{2 \cdot d}$
800	1.84	1.71	1.7		
900	1.92	1.81	1.9		
1000	2.0	1.9	2.1		

דוגמה 17

גלגל שיניים שקטרו הממוצע 250 mm מחובר בנקודה C לגל CAB שקטרו אחיד $d = 40 \text{ mm}$. על הגלגל פועלים שלוש כוחות חיצוניים: F_a ; F_r ; F_t , במקביל לצירים X, Y, Z, בהתאמה, כמוצג באיור לשאלה. הגל נתמך באמצעות סמכים בנקודות A ו-B (סמך B קבוע, סמך A נייד).

נתונים:

$$\sigma_y = 450 \text{ MPa}$$

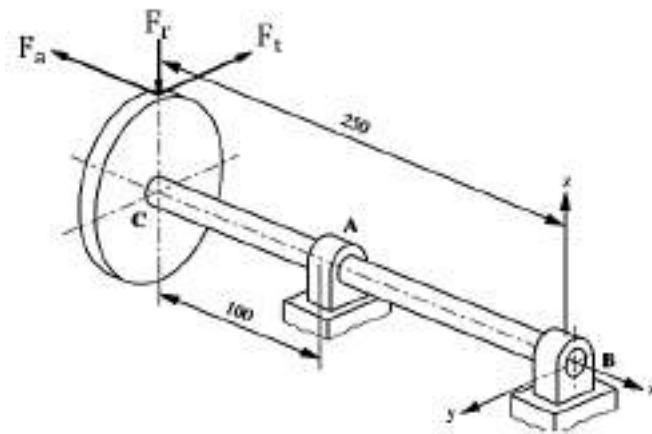
$$S = 2.5$$

$$F_a = 8 \text{ kN}; F_t = 12 \text{ kN}; F_r = 6 \text{ kN}$$

מאמץ כניעה של חומר הגל

מקדם בטחון

קוטר הגלגלים



דרוש:

- תגובות בסמכים A ו-B.
 - סרטטו ממהלך מומנטי כפיפה ומהלך מומנטי פיתול לאורך הגל.
 - בהנחה שקוטר הגל אחיד. בדוק את עמידת הגל בתנאי החוזק. באיזו נקודה לאורך הגל קיים מאמץ זה?
- הערה: הזניחו את המאמץ הצירי בגל.

פתרון דוגמה 17

א. תגובות בסמכים A ו-B.

מישור אנכי – V



$$M_{Cv} = 8 \cdot \frac{250}{2} = 1000 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$\Sigma M_{Av} = -6 \cdot 100 + 1000 + B_V \cdot 150 = 0$$

$$B_V = -2.67 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_V = 6 + A_V - 2.67 = 0$$

$$A_V = 3.33 \text{ kN}$$

מישור H



$$\Sigma M_{AH} = -12 \cdot 100 + B_H \cdot 150 = 0$$

$$B_H = 8 \text{ kN}$$

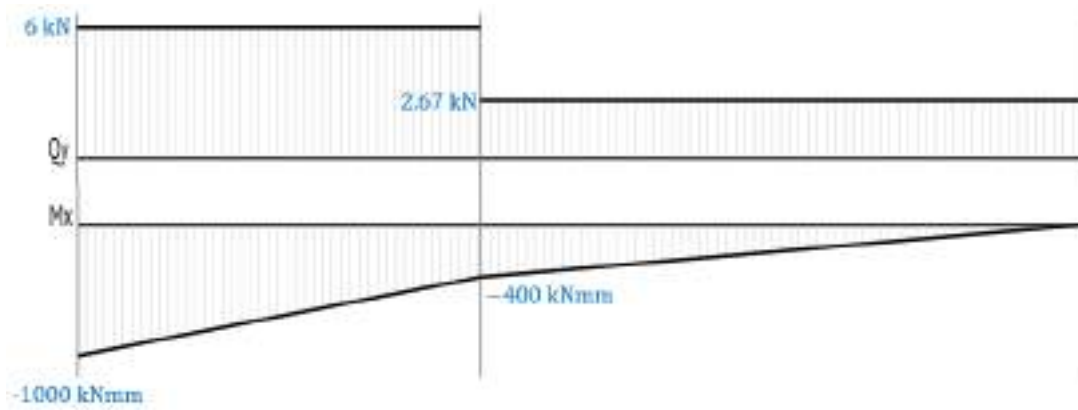
$$\Sigma F_H = 12 + A_H + 8 = 0$$

$$A_H = -20 \text{ kN}$$

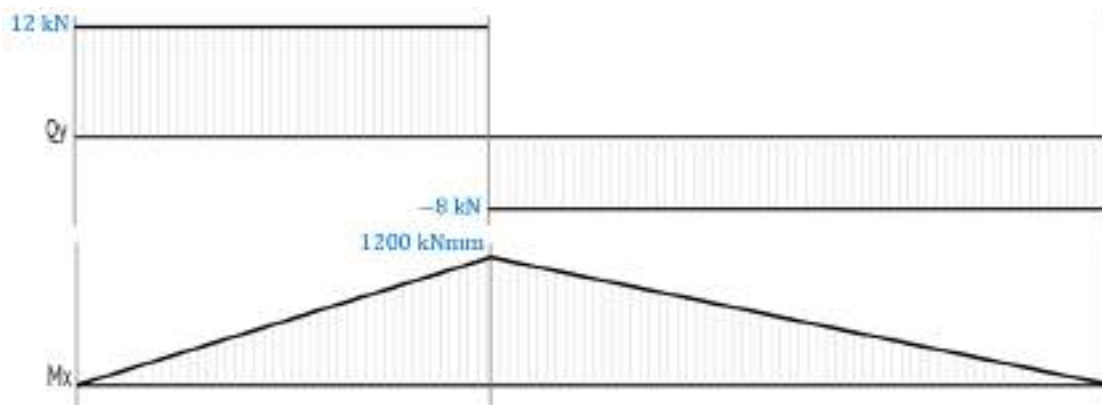
דוגמה 17 – המשך מעמוד קודם

ב. סרטטו ממהלך מומנטי כפיפה ומהלך מומנטי פיתול לאורך הגל.

מישור V



מישור H



$$M_t = 12 \cdot \frac{250}{2} = 1500 \text{ Nmm}$$



$$M_e = \sqrt{M_{bv}^2 + M_{bh}^2 + M_t^2} = \sqrt{400^2 + 1200^2 + 1500^2} = 1962 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

דוגמה 17 – המשך מעמוד קודם

ג. בהנחה שקוטר הגל אחיד. בדוק את עמידת הגל בתנאי החוזק. באיזו נקודה לאורך הגל קיים מאמץ זה?

$$\sigma_e = \frac{10 \cdot M_{e\max}}{D^3 \cdot (1 - \alpha^4)} \leq [\sigma]$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_y}{S} = \frac{450}{2.5} = 180 \text{ MPa}$$

$$\sigma_e = \frac{10 \cdot 1962000}{40^3 \cdot (1 - 0^4)} = 307 \text{ MPa} > [\sigma]$$

הגל אינו עומד בתנאי החוזק

12. סככים

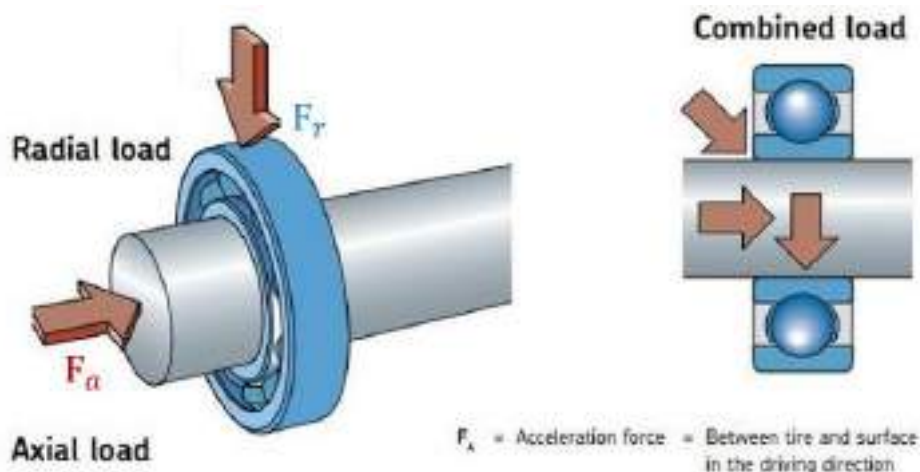
מסב – אלמנט מכני המאפשר תנועה יחסית בין שני חלקים, יחד עם העברת עומס ביניהם. מטרת המסב היא הקטנת חיכוך והשחיקה. דוגמאות לתנועה לא מאולצת במסב יכולות להיות תנועה קווית בכיוון הצירי או תנועה סיבובית בכיוון המשיקי.

המסבים משמשים לחיבור ותמיכת צירים במערכות מכניות. קיימות שתי שיטות עיקריות להקטנת חיכוך ושחיקה: סיכוך על ידי סיכה והחלפת חיכוך קינטי בחיכוך גלגול, על ידי הוספת אלמנטי גלילה.

סוגי כוחות

* **כוח רדיאלי** – כוח שקו פעולתו מאונך לציר הסיבוב של הגוף.

* **כוח צירי** – כוח הפועל בכיוון ציר הסימטריה של המסב.



בחירת מסב ניח

מסב גלילה המבצע בקצב סיבוב הנמוך מ-10 rpm. במקרה זה בוחרים מסב על-פי הלחץ המותר עליו בלבד.

(1) קביעת מקדמים

א. מטבלת יצרן המסב בחרו לפי קוטר גל בדרגת כושר סטטי – C_0 באמצע התחום.

ב. חשבו יחס

$$\frac{F_a}{C_0}$$

ג. בהתאם ליחס שחושב בחרו בערך גבולי – e שווה או גדול מהיחס שחושב.

ד. חשבו יחס

$$\frac{F_a}{F_r}$$

ה. קביעת מקדמים

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \rightarrow P = F_r$$

$$\frac{F_a}{F_r} > e \rightarrow x = x_0 ; y = y_0$$

(2) כוח שקול הפועל על המסב

$$P_0 = x_0 \cdot F_r + y_0 \cdot F_a$$

N	P_0	עומס סטטי שקול
	x_0	מקדם רדיאלי (ראה טבלת מסבים)
N	F_r	כוח ריאלי הפועל על המסב
	y_0	מקדם צירי (ראה טבלת מסבים)
N	F_a	כוח צירי הפועל על המסב

המשך בעמוד הבא

בחירת מסב – המשך מעמוד קודם

(3) דרגת עומס סטטי דרושה

$$C_0 = 1.6 \cdot P_0$$

C_0 דרגת עומס סטטי N

P_0 עומס סטטי שקול N

(4) בהתאם לדרגת עומס סטטי בחרו במסב מתאים בעל דרגת עומס סטטי **שווה או גדולה** מהדרגה הדרושה.

(5) רשמו כתשובה את המק"ט (מספר קטלוגי) **מנספח המסבים**.

בחירת מסב דינמי

כאשר מסב מסתובב במספר סיבובים נתון ונושא עומס מסוים, נוצרים מאמצי שטח (מעיקה) מקומיים גדולים. לאחר כמה מיליוני סיבובים של המסב נגרמים עקב התעייפות הפלדה סדקים זעירים במשטחי המגע בין אמצעי הגלילה לטבעות המסב ההולכים וגדלים עד להוצאת המסב מכלל פעולה. אם המסב נקי מלכלוך, משומן היטב, סגור בעזרת אטמים ועובד בטמפרטורת המותרות, ניתן לחשב את אורך חייו במיליוני סיבובים שבהם 90% מהמסבים יתפקדו בצורה תקינה.

1) קביעת מקדמים

א. מטבלת יצרן המסב בחרו לפי קוטר גל בדרגת כושר סטטי – C_0 באמצע התחום.

ב. חשבו יחס

$$\frac{F_a}{C_0}$$

ג. בהתאם ליחס שחושב בחר בערך גבולי – e שווה או גדול מהיחס שחושב.

ד. חשבו יחס

$$\frac{F_a}{F_r}$$

ה. קביעת מקדמים

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \quad P = F_r$$

$$\frac{F_a}{F_r} > e \quad x; y$$

המשך בעמוד הבא

בחירת מסב דינמי – המשך מעמוד קודם

(2) כוח שקול הפועל על המסב

$$P = x \cdot F_r + y \cdot F_a$$

P	עומס סטטי שקול	N
x	מקדם רדיאלי (ראה טבלת מסבים)	
F _r	כוח ריאלי הפועל על המסב	N
y	מקדם צירי (ראה טבלת מסבים)	
F _a	כוח צירי הפועל על המסב	N

(3) חשבו אורך חיי מסב במילוני סיבובים

$$L = L_h \cdot n \cdot 60 \cdot 10^{-6}$$

L	אורך חיי מסב	mel rev
L _h	אורך חיי מסב בשעות עבודה	h
n	מספר סיבובי גל המסב	rpm

(4) קביעת מקדמים

א. מקדם תנאי עבודה (לא נתון, הנח 1.5) – עומס דינמי, f_w

f _w	דוגמאות שימוש	תנאי עבודה
1 ÷ 1.2	מנועים חשמליים, מכונות עיבוד, מאווררים, מזגנים	עבודה רצופה, ללא תנודות וללא חבטות
1.2 ÷ 1.5	ממסרות גלגלי שיניים, מדחסים, מתקני הרמה	עבודה עם תנודות בינוניות
1.5 ÷ 3	מכונות ערגול, ממסרות רצועה, מנועי שריפה פנימית	עבודה עם תנודות וחבטות

ב. מקדם טמפרטורה (במידה וניתנה טמפרטורה מוגדרת), לרוב הנח 1 f_t

טמפרטורת עבודת המסב [°C]	< 150	200	250	300
f _t	1.0	1.1	1.3	1.7

בחירת מסב דינמי – המשך מעמוד קודם

(5) דרגת עומס דינמי דרושה – C^{74}

מסב כדורי

$$C = P \cdot L^{\frac{1}{3}} \cdot f_W \cdot f_t$$

מסב גלילה

$$C = P \cdot L^{0.3} \cdot f_W \cdot f_t$$

C	דרגת עומס דינמי דרושה	N
P	עומס סטטי שקול	N
L	אורך חיי מסב	mel rev
f_W	מקדם תנאי עבודה	
f_t	מקדם טמפרטורה	

לא נתון, הנח 1.5

(6) בהתאם לדרגת עומס דינמי בחרו במסב מתאים בעל דרגת עומס דינמי **שווה או גדולה** מהדרגה הדרושה.

(7) רשמו כתשובה את המק"ט (מספר קטלוגי) **מנספח המסבים**.

⁷⁴ עומס רדיאלי קבוע בו 90% מהמסבים יסתובבו מילון סיבובים בצורת תקינה.

אורך חיי מסב

(1) קביעת מקדמים

א. מטבלת יצרן המסב מצאו לפי קוטר גל ומק"ט מסב דרגת כושר סטטי – C_0 .

ב. חשבו יחס

$$\frac{F_a}{C_0}$$

ג. בהתאם ליחס שחושב בחרו בערך גבולי – e שווה או גדול מהיחס שחושב.

ד. חשבו יחס

$$\frac{F_a}{F_r}$$

ה. קביעת מקדמים

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \quad P = F_r$$

$$\frac{F_a}{F_r} > e \quad x; y$$

(2) כוח שקול הפועל על המסב

$$P = x \cdot F_r + y \cdot F_a$$

N	P	עומס סטטי שקול
x	מקדם רדיאלי (ראה טבלת מסבים)	
N	F_r	כוח ריאלי הפועל על המסב
y	מקדם צירי (ראה טבלת מסבים)	
N	F_a	כוח צירי הפועל על המסב

המשך בעמוד הבא

אורך חיי מסב – המשך מעמוד קודם

(3) מקדם תנאי עבודה (לא נתון, הנח 1.5) – עומס דינמי, f_w

(4) קביעת מקדם טמפרטורה (במידה וניתנה טמפרטורה מוגדרת העזר בטבלה 11), לרוב הנח $f_t = 1$

(5) חשבו אורך חיי מסב במילוני סיבובים

מסב כדורי

$$L = \left(\frac{C}{P \cdot f_w \cdot f_t} \right)^3$$

מסב גלילה

$$L = \left(\frac{C}{P \cdot f_w \cdot f_t} \right)^{\frac{10}{3}}$$

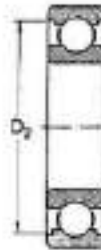
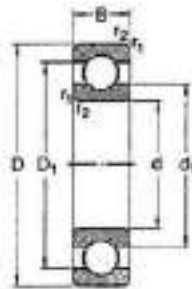
C	דרגת עומס דינמי דרושה	N
P	עומס סטטי שקול	N
L	אורך חיי מסב	mel rev
f_w	מקדם תנאי עבודה	
	לא נתון, הנח 1.5	
f_t	מקדם טמפרטורה	

(6) חשבו אורך חיים דרוש – L_h

$$L_h = \frac{L}{n \cdot 60 \cdot 10^{-6}}$$

L_h	אורך חיי מסב בשעות עבודה	h
L	אורך חיי מסב	mel rev
n	מספר סיבובי גל המסב	rpm

טבלה 6 – נתוני מסבי גלילה



F_a/C_0	e	$F_a/F_r \leq e$		$F_a/F_r > e$	
		x	y	x	y
0.025	0.22	1	0	0.58	2
0.04	0.24	1	0	0.56	1.8
0.07	0.27	1	0	0.56	1.6
0.13	0.31	1	0	0.56	1.4
0.25	0.37	1	0	0.56	1.2
0.5	0.44	1	0	0.56	1

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_u	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	C	C_0		Lubrication grease	oil		
mm			N		N	r/min		kg	-
20	32	7	2 700	1 500	83	19 000	24 000	0,018	61804
	37	9	6 370	3 650	156	18 000	22 000	0,038	61904
	42	8	6 890	4 050	173	17 000	20 000	0,050	16004
	42	12	9 360	5 000	212	17 000	20 000	0,069	6004
	47	14	12 700	6 550	280	15 000	18 000	0,11	6204
	52	15	15 900	7 800	335	13 000	16 000	0,14	6304
	72	19	30 700	15 000	640	10 000	13 000	0,40	6404
25	37	7	4 360	2 600	125	17 000	20 000	0,022	61805
	42	9	6 630	4 000	176	16 000	19 000	0,045	61905
	47	8	7 610	4 750	212	14 000	17 000	0,060	16005
	47	12	11 200	6 550	275	15 000	18 000	0,080	6005
	52	15	14 000	7 800	335	12 000	15 000	0,13	6205
	62	17	22 500	11 600	490	11 000	14 000	0,23	6305
	80	21	35 800	19 300	815	9 000	11 000	0,53	6405
30	42	7	4 490	2 900	146	15 000	18 000	0,027	61806
	47	9	7 280	4 550	212	14 000	17 000	0,051	61906
	55	9	11 200	7 350	310	12 000	15 000	0,085	16006
	55	13	13 300	8 300	355	12 000	15 000	0,12	6006
	62	16	19 500	11 200	475	10 000	13 000	0,20	6206
	72	19	26 100	16 000	670	9 000	11 000	0,35	6306
	90	23	43 600	23 600	1 000	8 500	10 000	0,74	6406
35	47	7	4 750	3 200	166	13 000	16 000	0,030	61807
	55	10	9 560	6 200	290	11 000	14 000	0,080	61907
	62	9	12 400	8 150	375	10 000	13 000	0,11	16007
	62	14	15 900	10 200	440	10 000	13 000	0,16	6007
	72	17	25 500	15 300	655	9 000	11 000	0,29	6207
	80	21	33 200	19 000	815	8 500	10 000	0,46	6307
	100	25	55 300	31 000	1 290	7 000	8 500	0,95	6407
40	52	7	4 940	3 450	186	11 000	14 000	0,034	61808
	62	12	13 800	9 300	425	10 000	13 000	0,12	61908
	68	9	13 300	9 150	440	9 500	12 000	0,13	16008
	68	15	16 800	11 600	490	9 500	12 000	0,19	6008
	80	18	30 700	19 000	800	8 500	10 000	0,37	6208
	90	23	41 000	24 000	1 020	7 500	9 000	0,63	6308
	110	27	63 700	36 500	1 530	6 700	8 000	1,25	6408

דוגמה 18

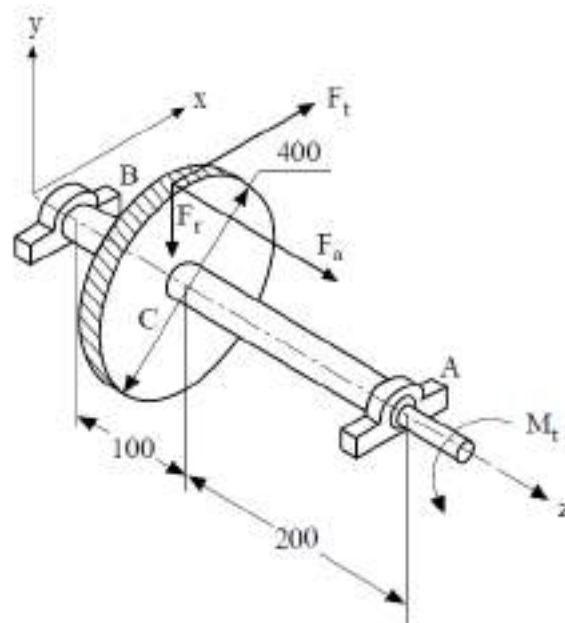
באיור לשאלה מתואר גל כניסה לממסרת, עליו מורכב גלגל שיניים בעל שיניים משופעות.

הגל נסמך בשני מסבים: A – סמך נייח, B – סמך נידד ומסתובב $n = 1000 \text{ rpm}$.

אורך חיים נדרש למסבים: $L_h = 12000 \text{ h}$.

דרוש: העזרו בנספח א' ובחרו מסב מתאים עבור סמך A, בהנחה שקוטר יד הגל $d_A = 25 \text{ mm}$. ועל המסב

פועלים הכוחות הבאים: כוח רדיאלי $F_{rA} = 2000 \text{ N}$, כוח צירי: $F_{aA} = 1000 \text{ N}$.



נספח א'

Single row radial ball bearings

מסבי כדורים, רדיאליים

F_a/C_o	e	$F_a/F_r \leq e$		$F_a/F_r > e$	
		x	y	x	y
0.025	0.22	1	0	0.58	2
0.04	0.24	1	0	0.56	1.8
0.07	0.27	1	0	0.56	1.6
0.13	0.31	1	0	0.56	1.4
0.25	0.37	1	0	0.56	1.2
0.5	0.44	1	0	0.56	1

primary dimensions			Basic bearing	Variants						Basic load ratings		Limiting speeds		Mass
d	D	B		z	-2z	RS	-2RS	N	NR	C	C ₀	grease	oil	
mm										N		rev/min		kg
20	42	8	16004							7 200	3 370	18 000	22 000	0.050
	42	12	6004	*	*	*	*	*	*	9 750	4 450	16 500	22 500	0.069
	47	14	6204	*	*	*	*	*	*	13 300	6 200	15 500	21 000	0.099
	47	14	M 204							18 000	9 350	15 000	18 000	0.116
	52	15	6304	*	*	*	*	*	*	16 500	7 800	14 700	20 000	0.144
	52	15	M 304							19 600	10 000	7 400	14 700	0.174
	72	19	6404							30 700	15 600	10 600	14 300	0.390
25	47	8	16005							7 500	3 690	14 000	18 000	0.060
	47	12	6005	*	*	*	*	*	*	10 500	4 950	14 600	19 500	0.080
	52	15	6205	*	*	*	*	*	*	14 500	6 950	14 000	19 000	0.123
	52	15	M 205							20 800	11 200	13 000	16 000	0.141
	62	17	6305	*	*	*	*	*	*	22 100	10 600	12 200	16 500	0.220
	62	17	M 305							31 200	17 400	11 000	14 000	0.257
	80	21	6405							34 700	17 900	9 400	12 700	0.526
30	55	9	16006							11 700	5 950	12 000	15 000	0.085
	55	13	6006	*	*	*	*	*	*	15 700	7 750	12 600	17 000	0.116
	62	16	6206	*	*	*	*	*	*	20 200	10 000	11 700	15 500	0.198
	62	16	M 206							28 200	15 700	11 000	14 000	0.218
	72	19	6306	*	*	*	*	*	*	30 800	15 800	10 600	14 300	0.331
	72	19	M 306							35 700	22 400	9 500	12 000	0.378
	90	23	6406							42 200	21 700	8 400	11 300	0.689
35	62	9	16007							12 700	6 950	10 500	13 000	0.110
	62	14	6007	*	*	*	*	*	*	16 600	8 500	11 200	15 000	0.156
	72	17	6207	*	*	*	*	*	*	26 700	13 600	10 100	13 600	0.276
	72	17	M 207							36 400	20 900	7 500	10 100	0.304
	80	21	6307	*	*	*	*	*	*	34 600	17 900	9 400	12 700	0.446
	80	21	M 307	*	*					42 800	24 600	8 500	10 000	0.511
	100	25	6407							55 000	29 900	7 500	10 200	0.916

פתרון דוגמה 18

(1) קביעת מקדמים

א. מטבלת יצרן המסב בחרו לפי קוטר גל בדרגת כושר סטטי – C_0 באמצע התחום.

$$C_0 = 11200 \text{ N}$$

ב. חשבו יחס

$$\frac{F_a}{C_0} = \frac{1000}{11200} = 0.09$$

ג. בהתאם ליחס שחושב בחר בערך גבולי – e שווה או גדול מהיחס שחושב.

$$e = 0.31$$

ד. חשבו יחס

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{1000}{2000} = 0.5$$

ה. קביעת מקדמים

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e \quad P = F_r$$

$$\frac{F_a}{F_r} = 0.5 > e = 0.31 \quad x = 0.56; y = 1.4$$

(2) כוח שקול הפועל על המסב

$$P = x \cdot F_r + y \cdot F_a = 0.56 \cdot 2000 + 1.4 \cdot 1000 = 2520 \text{ N}$$

המשך בעמוד הבא

דוגמה 18 – המשך מעמוד קודם

(3) חשבו אורך חיי מסב במילוני סיבובים

$$L = L_h \cdot n \cdot 60 \cdot 10^{-6} = 12000 \cdot 1000 \cdot 60 \cdot 10^{-6} = 720 \text{ mil rev}$$

(4) קביעת מקדמים

א. מקדם תנאי עבודה לא נתון, הנח: $f_w = 1.5$

ב. מקדם טמפרטורה לא נתון, הנח $f_t = 1$

(5) דרגת עומס דינמי דרושה – ^{75}C

מסב כדורי

$$C = P \cdot L^{\frac{1}{3}} \cdot f_w \cdot f_t = 2520 \cdot 720^{\frac{1}{3}} \cdot 1.5 \cdot 1 \cong 33880 \text{ N}$$

(6) בהתאם לדרגת עומס דינמי בחרו במסב מתאים בעל דרגת עומס דינמי שווה או גדולה מהדרגה הדרושה.

(7) רשמו כתשובה את המק"ט (מספר קטלוגי) מנספח המסבים.

נבחר מסב 6405

⁷⁵ עומס רדיאלי קבוע בו 90% מהמסבים יסתובבו מילון סיבובים בצורת תקינה.

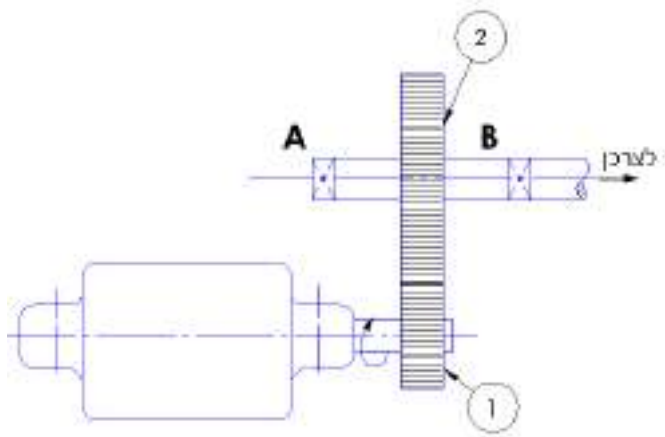
דוגמה 19

בממסרת גלגלי שיניים ישירות בעלת יחס תמסורת $i = 1:3$, מסתובב המנוע במהירות 1500 rpm. גל AB נתמך על-ידי מסבים בנקודות A ו-B, כמתואר באיור לשאלה.

נתונים:

מקדם תנאי עבודה במסבים	1.5
מסב	6208
כוח רדיאלי	$F_r = 2000 \text{ N}$
כוח צירי	$F_a = 600 \text{ N}$

דרוש: אורך חיים של המסבים בשעות עבודה.



פתרון דוגמה 19

אורך חיים של המסבים בשעות עבודה.

$$C = P \cdot L^a \cdot f_w \cdot f_t$$

$$d = 40 \text{ mm}$$

$$C = 30700 \text{ N}$$

$$C_o = 19000 \text{ N}$$

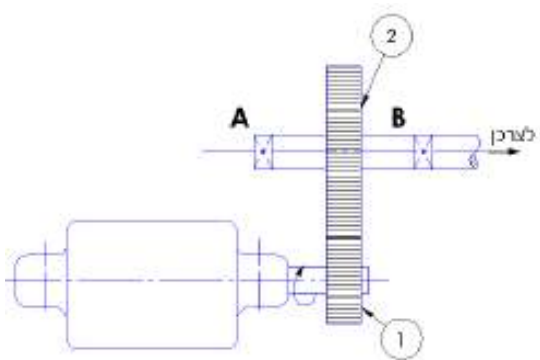
$$\frac{F_a}{C_o} = \frac{600}{19000} = 0.0316$$

$$e = 0.24$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{600}{2000} = 0.3 > e \rightarrow x = 0.56 ; y = 2$$

$$P = x \cdot F_r + y \cdot F_a = 0.56 \cdot 2000 + 1.8 \cdot 600 = 2200 \text{ N}$$

המשך בעמוד הבא



דוגמה 19 – המשך מעמוד קודם

$$C = P \cdot L^a \cdot f_W \cdot f_t$$

$$30700 = 2200 \cdot L^{\frac{1}{3}} \cdot 1.5 \cdot 1$$

$$L = 805 \text{ mil rev}$$

$$L = L_h \cdot n \cdot 60 \cdot 10^{-6}$$

$$i_{tot} = \frac{n_{out}}{n_{in}}$$

$$\frac{1}{3} = \frac{n_{out}}{1500}$$

$$n_{out} = 500 \text{ rpm}$$

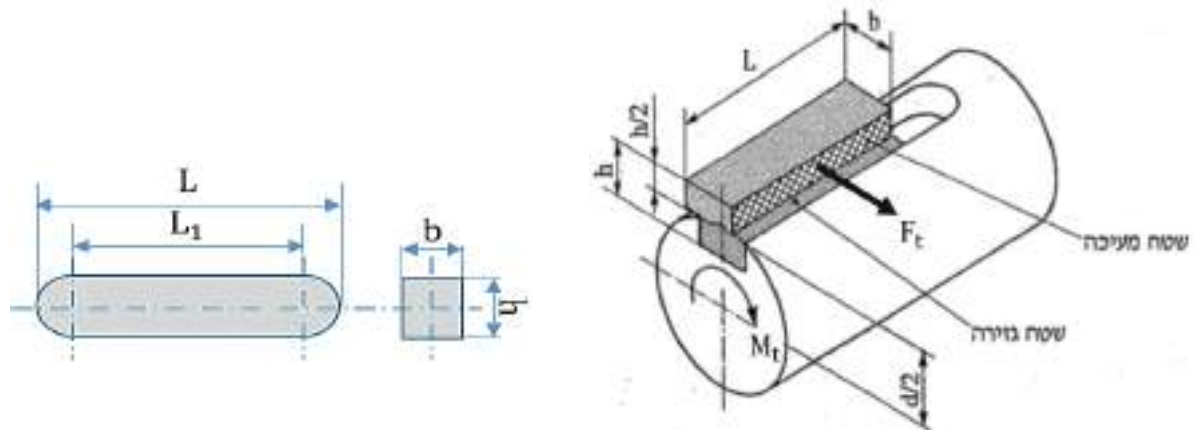
$$805 = L_h \cdot 500 \cdot 60 \cdot 10^{-6}$$

$$L_h = 26835 \text{ h}$$

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	C	C ₀	P _u	Lubrication grease	oil		
mm			N		N	r/min		kg	-
20	32	7	2 700	1 500	83	19 000	24 000	0,018	61804
	37	9	6 370	3 650	156	18 000	22 000	0,038	61904
	42	8	6 890	4 050	173	17 000	20 000	0,050	16004
	42	12	9 360	5 000	212	17 000	20 000	0,089	6004
	47	14	12 700	6 550	280	15 000	18 000	0,11	6204
	52	15	15 900	7 800	335	13 000	16 000	0,14	6304
	72	19	30 700	15 000	640	10 000	13 000	0,40	6404
25	37	7	4 360	2 600	125	17 000	20 000	0,022	61805
	42	9	6 630	4 000	176	16 000	19 000	0,045	61905
	47	8	7 610	4 750	212	14 000	17 000	0,060	16005
	47	12	11 200	6 550	275	15 000	18 000	0,080	6005
	52	15	14 000	7 800	335	12 000	15 000	0,13	6205
	62	17	22 500	11 600	490	11 000	14 000	0,23	6305
	80	21	35 800	19 300	815	9 000	11 000	0,53	6405
30	42	7	4 480	2 900	146	15 000	18 000	0,027	61806
	47	9	7 280	4 550	212	14 000	17 000	0,051	61906
	55	9	11 200	7 350	310	12 000	15 000	0,085	16006
	55	13	13 300	8 300	355	12 000	15 000	0,12	6006
	62	16	19 500	11 200	475	10 000	13 000	0,20	6206
	72	19	26 100	16 000	670	9 000	11 000	0,35	6306
	90	23	43 600	23 600	1 000	8 500	10 000	0,74	6406
35	47	7	4 750	3 200	166	13 000	16 000	0,030	61807
	55	10	9 560	6 200	290	11 000	14 000	0,080	61907
	62	9	12 400	8 150	375	10 000	13 000	0,11	16007
	62	14	15 900	10 200	440	10 000	13 000	0,16	6007
	72	17	25 500	15 300	655	9 000	11 000	0,29	6207
	80	21	33 200	19 000	815	8 500	10 000	0,46	6307
	100	25	55 300	31 000	1 290	7 000	8 500	0,95	6407
40	52	7	4 940	3 450	186	11 000	14 000	0,034	61808
	62	12	13 800	9 300	425	10 000	13 000	0,12	61908
	68	9	13 300	9 150	440	9 500	12 000	0,13	16008
	68	15	16 800	11 600	490	9 500	12 000	0,19	6008
	80	18	30 700	19 000	800	8 500	10 000	0,37	6208
	90	23	41 000	24 000	1 020	7 500	9 000	0,63	6308
	110	27	63 700	36 500	1 530	6 700	8 000	1,25	6408

13. חיבור באמצעות נשגם

נשגם – גוף ביניים שתפקידו להעביר תנועה סיבובית מהגל לגלגל. את השגם מייצרים מחומר **חלש** יותר מחומר הגופים אותם הוא מחבר בשל פשטותו ומחירו הנמוך **במטרה שהוא יכשל** ולא הגל או הגלגל.



$$L_1 = L - b \text{ אורך יעיל:}$$

בחר לפי קוטר יד הגל **במידות שגם תקניות** לפי תקן DIN 6885 (ISO 773)

הערות:

- (1) בהתאם לקוטר יד הגל יש לקבוע מתקן DIN 6885 את מידות חתך השגם **רוחב** – b ו**גובה** – h .
- (2) אורך שגם יעיל נדרש – L_1 , יקבע כתוצאה **הגדולה** מבין תנאי החוזק לגזירה ולמעיקה. לאחר קביעת אורך שגם יעיל L_1 , יש לחשב את אורך השגם L ולקבוע את גודלו הסופי בטווח האורכים המוגדר בתקן DIN 6885.
- (3) כוח הקפי **מרב** – F_t שיכול לפעול על השגם, יקבע כתוצאה **הקטנה** מבין תנאי החוזק לגזירה ולמעיקה.

קביעת אורך שגם

(1) חשב מומנט סיבוב הפועל על המחבר (במידה ולא נתון)

$$M_t = 9.55 \cdot 10^6 \cdot \frac{H}{n}$$

M_t	מומנט סיבוב המועבר על-ידי המחבר ⁷⁶	Nmm
H	הספק מועבר באמצעות החיבור ⁷⁷	kW
n	מספר סיבובי החיבור	rpm

(2) כוח הפועל על השגם⁷⁸

$$F_t = \frac{2 \cdot M_t}{d_1}$$

F_t	כוח הקפי הפועל על השגם	N
d_1	קוטר יד הגל	mm

(3) אורך שגם לפי תנאי חוזק לגזירה

$$[\tau_s] = 0.6 \cdot \frac{\sigma_y}{S}$$

σ_y	מאמץ כניעה במתיחה ⁷⁹	MPa
$[\tau_s]$	מאמץ <u>מותר</u> לגזירה	MPa
S	מקדם בטחון (Safety factor) ⁸⁰	

$$L_s = \frac{F_t}{b \cdot [\tau_s]} = \frac{2 \cdot M_t}{d_1 \cdot b \cdot [\tau_s]}$$

F_t	כוח הקפי הפועל על השגם	N
b	רוחב השגם (לפי Din 6885)	mm
L_s	אורך <u>יעיל</u> של השגם לגזירה	mm

המשך בעמוד הבא

⁷⁶ במידה ומכללה שלך נמדד המומנט ביחידות Nm חלק נוסחה זו ל-9550.

⁷⁷ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) לסימון המושג **הספק** הוא יחליף את השימוש באות H.

⁷⁸ במידה ואתה מעדיף לחשב את אורך השגם ממומנט הסיבוב **דלג** על שלב זה ועבור לשלבים 3 ו-4.

⁷⁹ נתון חומר, הוצא מאמץ כניעה מטבלת נתוני פלדה ואלומיניום

⁸⁰ לא נתון, ראה מקדמי בטחון מומלצים

קביעת אורך שגם – המשך מעמוד קודם

(4) אורך שגם לפי תנאי החוזק למעיקה

$$[\sigma_{lc}] = 1.8 \cdot \frac{\sigma_y}{S}$$

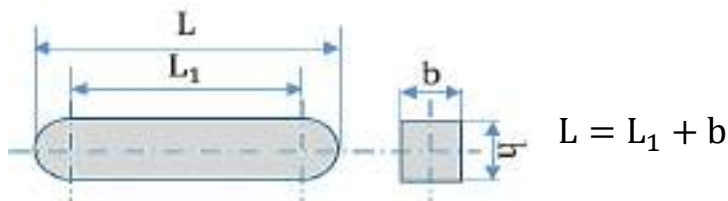
MPa	מאמץ כניעה במתיחה	σ_y
MPa	מאמץ <u>מותר</u> למעיקה	$[\sigma_{lc}]$
	מקדם בטחון (Safety factor)	S

$$L_{lc} = \frac{F_t}{h \cdot [\sigma_{lc}]} = \frac{4 \cdot M_t}{d_1 \cdot h \cdot [\sigma_{lc}]}$$

N	כוח הקפי הפועל על השגם	F_t
Nmm ⁸¹	מומנט סיבוב המועבר על-ידי המחבר	M_t
mm	קוטר יד הגל	d_1
mm	גובה השגם (לפי Din 6885)	h
mm	אורך <u>יעיל</u> של השגם למעיקה	L_{lc}

(5) בחר באורך L_1 הגדול מבין תוצאות חישוב סעיפים 3 ו-4.

(6) חשב אורך שגם



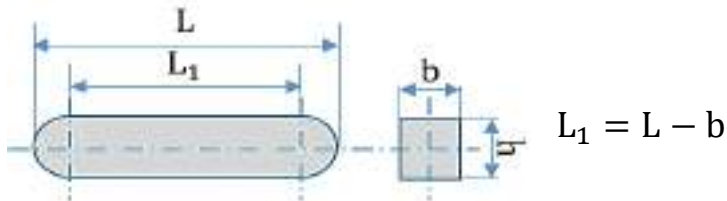
(7) בדוק כי האורך המתקבל עומד בטווח תקן Din 6885.

⁸¹ יש להציב בנוסחה זו את מומנט הסיבוב ב-Nmm

הספק מרבי שניתן להעביר באמצעות השגם

(1) מתקן Din 6885 הוצא ממדי שגם

(2) חשב אורך יעיל של השגם



(3) מומנט מרבי לפי תנאי חוזק לגזירה

$$[\tau_s] = 0.6 \cdot \frac{\sigma_y}{S}$$

σ_y מאמץ כניעה במתיחה⁸² MPa
 $[\tau_s]$ מאמץ מותר לגזירה MPa
 S מקדם בטחון⁸³ (Safety factor)

$$M_{t-s} = \frac{d_1 \cdot b \cdot L_1 \cdot [\tau_s]}{2}$$

M_{t-s} מומנט סיבוב מרבי לפי תנאי החוזק לגזירה Nmm
 b רוחב השגם (לפי Din 6885) mm
 d_1 קוטר יד הגל mm
 L_1 אורך יעיל של השגם mm

המשך בעמוד הבא

⁸² נתון חומר, הוצא מאמץ כניעה מטבלת נתוני פלדה ואלומיניום
⁸³ לא נתון, ראה מקדמי בטחון מומלצים

(4) מומנט מרבי לפי תנאי חוזק למעיקה

$$[\sigma_{lc}] = 1.8 \cdot \frac{\sigma_y}{S}$$

σ_y מאמץ כניעה במתיחה MPa
 $[\sigma_{lc}]$ מאמץ מותר למעיקה MPa
 S מקדם בטחון (Safety factor)

$$M_{t-lc} = \frac{h \cdot L_1 \cdot d_1 \cdot [\sigma_{lc}]}{4}$$

M_{t-lc} מומנט סיבוב מרבי לפי תנאי החוזק למעיקה Nmm
 h גובה השגם (לפי 6885 Din) mm
 d_1 קוטר יד הגל mm
 L_1 אורך יעיל של השגם mm

(5) מבין תוצאות סעיפים 3 ו-4 בחר במומנט הסיבוב הנמוך ביותר.

(6) חשב מומנט סיבוב הפועל על המחבר (במידה ולא נתון)

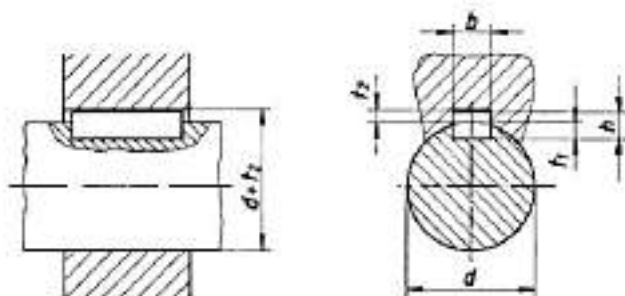
$$M_t = 9.55 \cdot 10^6 \cdot \frac{H}{n}$$

M_t מומנט סיבוב המועבר על-ידי המחבר⁸⁴ Nmm
 H הספק מועבר באמצעות החיבור⁸⁵ kW
 n מספר סיבובי החיבור rpm

⁸⁴ במידה ומכללה שלך נמדד המומנט ביחידות Nm חלק נוסחה זו ל-9550.

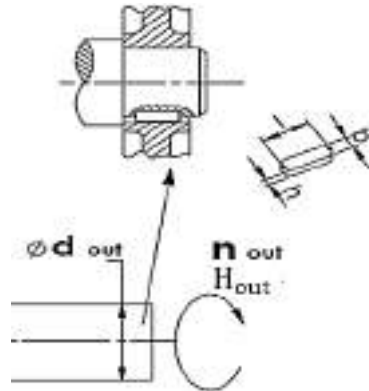
⁸⁵ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) לסימון המושג הספק הוא יחליף את השימוש באות H .

d (from) mm	d (to) mm	b x h	t1	t2
6	8	2x2	1.2	1
8	10	3x3	1.8	1.4
10	12	4x4	2.5	1.8
12	17	5x5	3	2.3
17	22	6x6	3.5	2.8
22	30	8x7	4	3.3
30	38	10x8	5	3.3
38	44	12x8	5	3.3
44	50	14x9	5.5	3.8
50	58	16x10	6	4.3
58	65	18x11	7	4.4
65	75	20x12	7.5	4.9
75	85	22x14	9	5.4
85	95	25x14	9	5.4
95	110	28x16	10	6.4
110	130	32x18	11	7.4
130	150	36x20	12	8.4
150	170	40x22	13	9.4
170	200	45x25	15	10.4
200	230	50x28	17	11.4
230	260	56x32	20	12.4
260	290	63x32	20	12.4
290	330	70x36	22	14.4
330	380	80x40	25	15.4
380	440	90x45	28	17.4
440	550	100x50	31	19.5



דוגמה 20

נתונים:



$$H_{out} = 16 \text{ kW}$$

$$n_{out} = 100 \text{ rpm}$$

$$d_{out} = 55 \text{ mm}$$

$$[\tau_s] = 80 \text{ MPa}$$

$$[\sigma_{lc}] = 200 \text{ MPa}$$

הספק בכניסת הממסרה

מהירות סיבוב גל היציאה

קוטר גל היציאה

מאמץ מותר לגזירה לחומר השגם

מאמץ מותר למעיכה לחומר השגם

דרוש:

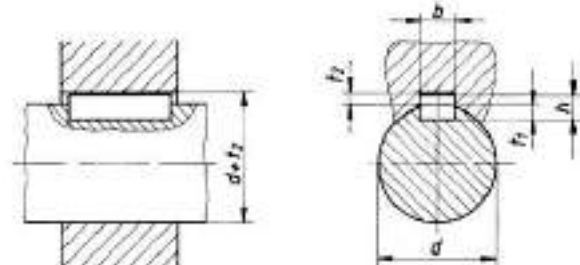
א. בחר מידות חתך לשגם, המחובר בין גל היציאה לגלגל המורכב עליו.

ב. חשב אורך שגם דרוש – L.

פתרון דוגמה 20

א. בחר מידות חתך לשגם, המחובר בין גל היציאה לגלגל המורכב עליו.

d (from) mm	d (to) mm	b x h	t1	t2
6	8	2x2	1.2	1
8	10	3x3	1.8	1.4
10	12	4x4	2.5	1.8
12	17	5x5	3	2.3
17	22	6x6	3.5	2.8
22	30	8x7	4	3.3
30	38	10x8	5	3.3
38	44	12x8	5	3.3
44	50	14x9	5.5	3.8
50	58	16x10	6	4.3
58	65	18x11	7	4.4



דוגמה 20 – המשך מעמוד קודם
ב. חשב אורך שגם דרוש – L .
תנאי חוזק לגזירה

$$\tau_s = \frac{F_t}{A_s} = [\tau_s]$$

$$F_t = \frac{2 \cdot M_t}{d_1}$$

$$M_t = 9.55 \cdot 10^6 \cdot \frac{H_{out}}{n} = 9.55 \cdot 10^6 \cdot \frac{16}{100} = 1528000 \text{ Nmm}$$

$$F_t = \frac{2 \cdot 1528000}{55} \cong 55565 \text{ N}$$

$$\tau_s = \frac{55565}{A_s} = 80$$

$$A_s = 695 \text{ mm}^2$$

$$A_s = b \cdot L_1$$

$$695 = 16 \cdot L_s$$

$$L_s = 43.5 \text{ mm}$$

תנאי חוזק למעיקה

$$\sigma_{lc} = \frac{F_t}{A_{lc}} = [\sigma_{lc}]$$

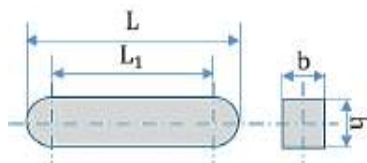
$$\sigma_{lc} = \frac{55565}{A_{lc}} = 200$$

$$A_{lc} = 280 \text{ mm}^2$$

$$A_{lc} = \frac{h}{2} \cdot L_1$$

$$280 = \frac{10}{2} \cdot L_{lc}$$

$$L_{lc} = 56 \text{ mm}$$



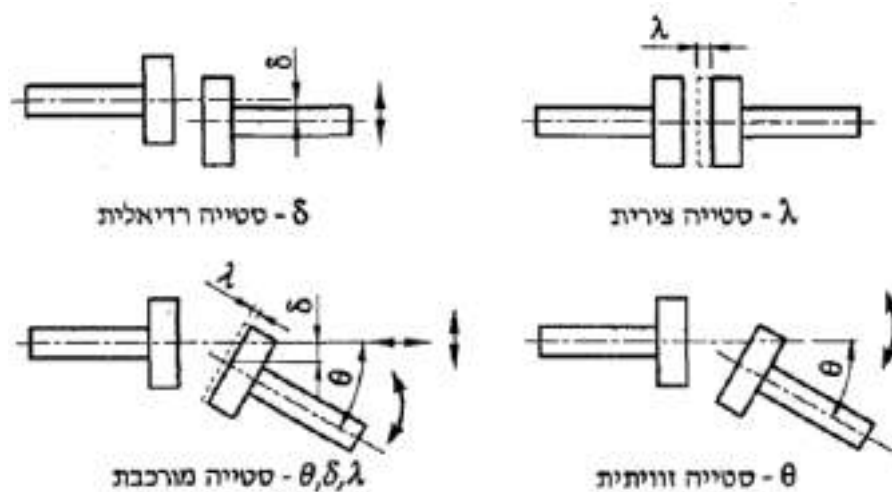
אורך שגם יעיל דרוש: $L_1 = 56 \text{ mm}$.

אורך שגם $L = 56 + 16 = 72 \text{ mm}$

14. מצמדים

המצמדים הם מכלולים מכניים, המחברים באופן קבוע או זמני גלים (או קטעי גלים) בעלי ציר סיבוב משותף, זאת באמצעות העברת מומנט הסיבוב (העברת הספק סיבובי) מגל אחד למשנהו. המצמדים משמשים בנוסף גם כאמצעי בטיחות נגד עומס-יתר על מכונת העבודה.

לשני הגלים, המחוברים בעזרת מצמד, ציר סיבוב משותף, אך בהרבת המכונות מתקבלות סטיות ממצב זה. נוסף על כך, בעת עבודת הגל יכולים לחול מידי פעם שינויים במיקום הציר עקב שינוי טמפרטורה או שינוי עומס הפועל עליו.



סטיות מצב הדדי בין גלים

הקשר שיוצרים המצמדים יכול להיות קשיח או נייד עם אפשרות להצמדה או הפרדה תוך כדי עבודה.

ניתן לחלק את המצמדים לשלוש קבוצות עיקריות:

- * **מצמדים קבועים** (Couplings) – מצמדים בעלי חיבור קבוע בין שני גלים.
מצמדים קשיחים – אינם מאפשרים קיזוז סטיות בין הגלים.
מצמדים גמישים – מאפשרים קיזוז סטיות בין הגלים.
- * **מצמדים זמניים** (Clutches) – מהווים קשר מבוקר בין הגלים.
- * **מצמדים גבוליים** – מאפשרים הפקת הקשר בין הגלים בעומס יתר, או במהירות גבולית.

מצמד נייח (קבוע)

יחס בין מרכיבי הספק מכני

$$H = \frac{M_t \cdot n}{9.55 \cdot 10^6}$$

kW	הספק ⁸⁶	H
Nmm	מומנט סיבוב דרוש (נקוב) להעברת ההספק ⁸⁷	M _t
rpm	מספר סיבובים	n

מצמד קבוע נבחר מתוך קטלוגים של יצרנים על פי מומנט אפקטיבי וקוטר גל. כדי להבטיח עבודה תקינה של המצמד מגדירים **מקדם תנאי עבודה** הלוקח בחשבון את תנאי עבודת המצמד, מספר ההתנעות של המכלול וטמפרטורת הסביבה.

מומנט אפקטיבי (יעיל)

$$M_e = M_t \cdot f$$

Nmm	מומנט אפקטיבי (יעיל)	M _e
Nmm	מומנט סיבוב דרוש (נקוב) להעברת ההספק	M _t
	מקדם תנאי עבודה (לרוב נתון)	f

מקדם תנאי העבודה נתון לרוב בשאלה ובמידה **ואינו נתון** מחשבים אותו כמכפלת מקדמי הטבלאות.

$$f = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$

k ₁	מקדם עומס דינמי
k ₂	מקדם טמפרטורת סביבה
k ₃	מקדם מספר התנעות בשעה

⁸⁶ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות **P** (קיצור המילה Power) לסימון המושג **הספק** הוא יחליף את השימוש באות **H**.
⁸⁷ במידה ומכללה שלך נמדד המומנט ביחידות Nm חלק נוסחה זו ל-9550.

מקדם עומס דינמי – k_1

k_1	תנאי עבודה
1	עבודה אחידה ומסות קטנות להאצה
1.2	עבודה אחידה ומסות בינוניות להאצה
1.3	עבודה לא אחידה ומסות בינוניות להאצה
1.4	עבודה לא אחידה עם נגיפות מתונות ומסות בינוניות להאצה
1.6	עבודה לא אחידה עם נגיפות חזקות ומסות גדולות להאצה
1.8 ÷ 2.0	עבודה לא אחידה עם נגיפות חזקות מאוד ומסות גדולות מאוד להאצה

מקדם מספר התנועות בשעה – k_3

עד 100	200	400	800
1	1.2	1.4	1.6

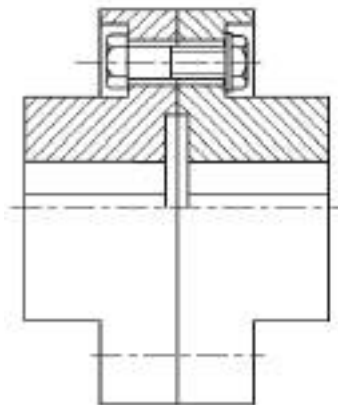
מקדם טמפרטורת סביבה – k_2

+100°C	+60°C	+40°C	-30°C ÷ +30°C
1.8	1.4	1.2	1

מצמדים קשיחים (מצמד אוגנים)

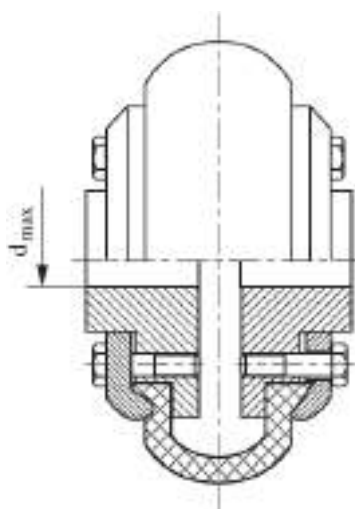
באמצעות מצמד קשיח ניתן לחבר גלים בעלי מרכז מדויק במהירות סיבוב נמוכה ($n < 300 \text{ rpm}$). על מנת למנוע הופעת מומנטי כפיפה, מומלץ להרכיבם סמוך למסבים.

שם המצמד	קוטר גל מרבית, d_{max} [mm]	מומנט M_e [Nm]
F-1	16	550
F-1 $\frac{1}{2}$	20	1,000
F-2	25	2,750
F-2 $\frac{1}{2}$	40	4,000
F-3	45	6,400
F-3 $\frac{1}{2}$	60	10,000
F-4	75	14,200
F-4 $\frac{1}{2}$	90	22,800
F-5	100	38,800



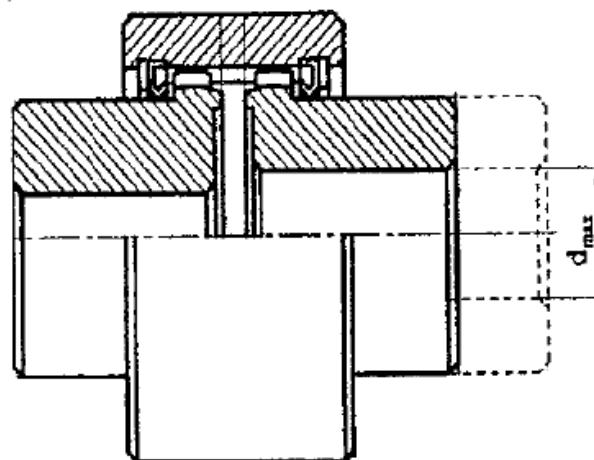
מצמדים גמישים

המצמד size	המהירות המרבית n_{max} [rpm]	המומנט M_e [Nm]		הסטייה הזוויתית [mm]	הסטייה הצירית [mm]	הסטייה הרדיאלית [mm]
		M_e	M_{emax}			
TY 40	4,500	25	65	4	1.1	1.3
TY 50	4,500	66	165	4	1.3	1.7
TY 60	4,000	127	320	4	1.6	2.0
TY 70	3,600	250	625	4	1.9	2.3
TY 80	3,100	375	940	4	2.1	2.6
TY 90	3,000	500	1,250	4	2.4	3.0
TY 100	2,600	675	1,690	4	2.6	3.3
TY 110	2,300	875	2,130	4	2.9	3.7
TY 120	2,050	1,300	3,540	4	3.2	4.0
TY 140	1,800	2,320	5,642	4	3.7	4.6
TY 160	1,600	3,770	9,340	4	4.2	5.3
TY 180	1,500	6,270	16,455	4	4.8	6.0



מצמד שיניים

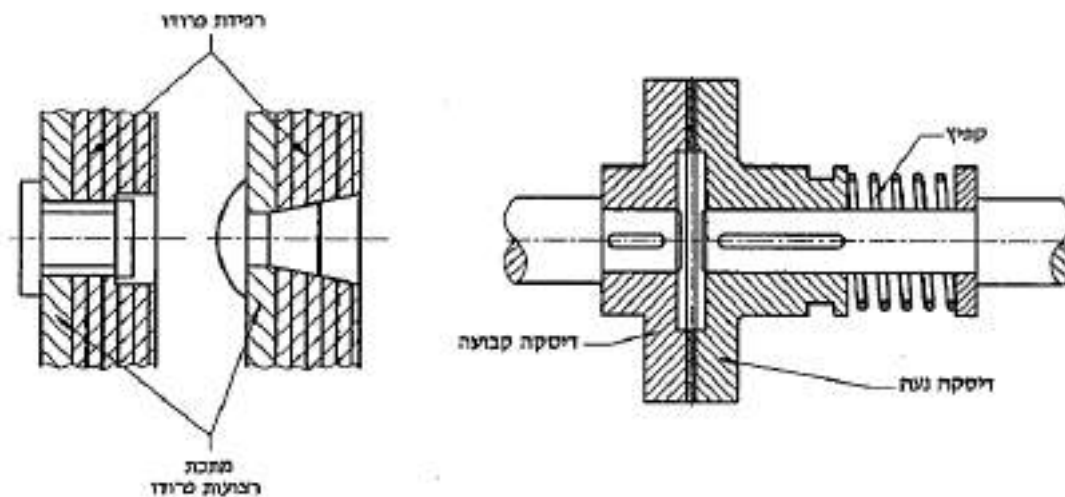
Size	מומנט מרבי M_e [N·m]	סטייה מותרת		
		זוויתית θ°	רדיאליות δ [mm]	צירית λ [mm]
GA 70	180	$\pm 1^\circ$	± 3	± 1
GA 85	290	$\pm 1^\circ$	± 3	± 1
GA 100	720	$\pm 1^\circ$	± 3	± 1
GA 120	1790	$\pm 1^\circ$	± 4	± 1
GA 140	2870	$\pm 1^\circ$	± 4	± 1
GA 175	5100	$\pm 1^\circ$	± 4	± 1
GA 195	8600	$\pm 1^\circ$	± 5	± 1
GA 250	18500	$\pm 1^\circ$	± 5	± 1
GA 300	36000	$\pm 1^\circ$	± 5	± 1
GA 350	55000	$\pm 1^\circ$	± 5	± 1



מצמד שטוח

מאפשר הצמדה או הפרדה בין הגלים המחוברים בכל פעם שהדבר נחוץ לפעולת המכלול.

בנוי משתי דסקות: דסקה קבועה ודסקה ניידת (נעה). התנועה בין הגלים מועברת בעזרת כוחות החיכוך הנוצרים בין הדסקות.



קיימים שני סוגי מצמדי חיכוך:

* מצמד דיסקות קשוח

בתחילת עבודת המצמד מתרחש בלאי מרבי באזורים המרוחקים מהציר, לאחר שהבלאי נוצר משתנה פילוג הלחצים כך שהבלאי יישאר קבוע בכל אזורי המגע (בלאי אחיד).

במצמד זה מתקיים התנאי: $p \cdot v = \text{const}$

* מצמד דיסקות גמיש

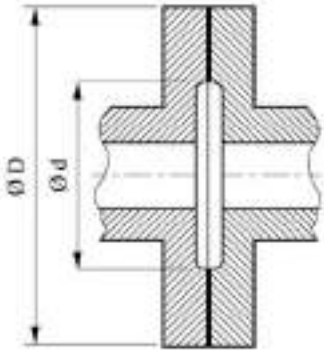
המצמד כולל קפיצים להבטיח לחץ שטח אחיד בכל שטח המגע.

במצמד זה מתקיים התנאי: $p = \text{const}$

הספק מרבי המועבר באמצעות המצמד

דרך א'

(1) כוח הצמדה מותר (מרבי) בין דיסקות המצמד



בלאי אחיד	שטח אחיד
$p_v = \text{const}$	$p = \text{const}$
$[F_a] = \frac{\pi \cdot d \cdot [p]}{2} \cdot (D - d)$	$[F_a] = \frac{\pi}{4} \cdot [p] \cdot (D^2 - d^2)$

N	כוח הצמדה (כוח צירי) <u>מותר</u>	$[F_a]$
MPa	לחץ מגע <u>מותר</u> בין דיסקות המצמד	$[p]$
mm	קוטר חיצוני של המצמד	D
mm	קוטר פנימי של המצמד	d

(2) 'רדיוס חיכוך'

בלאי אחיד	שטח אחיד
$p_v = \text{const}$	$p = \text{const}$
$R_f = \frac{D + d}{4}$	$R_f = \frac{1}{3} \cdot \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}$

mm	'רדיוס חיכוך' R_f
mm	D קוטר חיצוני של המצמד
mm	d קוטר פנימי של המצמד

(3) מומנט חיכוך מרבי

$$M_f = \mu \cdot F_a \cdot R_f \cdot i_m$$

Nmm	מומנט חיכוך	M_f
	מקדם חיכוך בין דיסקות המצמד	μ
N	כוח הצמדה (כוח צירי)	F_a
mm	'רדיוס חיכוך'	R_f
	מספר שטחי מגע בין דיסקות המצמד	i_m
	(לא נתון, הנח: $i_m = 1$)	

הספק המועבר באמצעות המצמד (דרך א') – המשך מעמוד קודם

(4) הספק מועבר

$$H = \frac{M_f \cdot n}{9.55 \cdot 10^6 \cdot f}$$

kW	הספק ⁸⁸	H
Nmm	מומנט סיבוב דרוש (נקוב) להעברת ההספק ⁸⁹	M_t
rpm	מספר סיבובים	n
	מקדם תנאי עבודה (נתון)	f

דרך ב'

בלאי אחיד

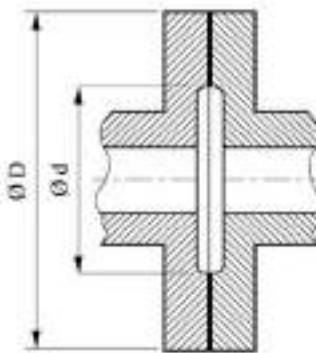
$p \cdot v = \text{const}$

$$H = \frac{\mu \cdot i_m \cdot n}{9.55 \cdot 10^6 \cdot f} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot [p] \cdot d \cdot (D^2 - d^2)$$

שטח אחיד

$p = \text{const}$

$$H = \frac{\mu \cdot i_m \cdot n}{9.55 \cdot 10^6 \cdot f} \cdot \frac{\pi}{12} \cdot [p] \cdot (D^3 - d^3)$$



kW	הספק	H
	מקדם חיכוך בין דיסקות המצמד	μ
	מספר שטחי מגע בין דיסקות המצמד	i_m
	(לא נתון, הנח: $i_m = 1$)	
rpm	מספר סיבובים	n
	מקדם תנאי עבודה (נתון)	f
MPa	לחץ מגע מונתב בין דיסקות המצמד	$[p]$
mm	קוטר חיצוני של המצמד	D
mm	קוטר פנימי של המצמד	d

⁸⁸ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) לסימון המושג **הספק** הוא יחליף את השימוש באות H.
⁸⁹ במידה ומכללה שלך נמדד המומנט ביחידות Nm חלק נוסחה זו ל-9550.

ממדי המצמד

מומנט חיכוך דרוש לתכנון המצמד

$$M_f = 9.55 \cdot 10^6 \cdot \frac{H \cdot f}{n}$$

M_f	מומנט חיכוך דרוש לתכנון המצמד	Nmm
H	הספק	kW
n	מספר סיבובים	rpm
f	מקדם תנאי עבודה (נתון)	

* חשב לפי דרישת התרגיל

קוטר חיצוני של המצמד

בלאי אחיד
 $p_v = \text{const}$

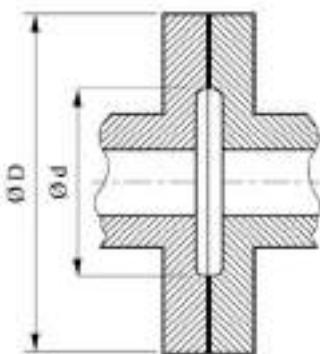
$$D = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot M_f}{\mu \cdot i_m \cdot \pi \cdot d \cdot [p]} + d^3}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot M_f}{\mu \cdot i_m \cdot \pi \cdot (\beta - \beta^3) \cdot [p]}}$$

שטח אחיד
 $p = \text{const}$

$$D = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot M_f}{\mu \cdot i_m \cdot \pi \cdot [p]} + d^3}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot M_f}{\mu \cdot i_m \cdot \pi \cdot [p] \cdot (1 - \beta^3)}}$$



M_f	מומנט חיכוך דרוש לתכנון המצמד	Nmm
μ	מקדם חיכוך בין דיסקות המצמד	
i_m	מספר שטחי מגע בין דיסקות המצמד (לא נתון, הנח: $i_m = 1$)	
$[p]$	לחץ מגע מותר בין דיסקות המצמד	MPa
D	קוטר חיצוני של המצמד	mm
d	קוטר פנימי של המצמד	mm
β	יחס קטרים	

$$\beta = \frac{d}{D}$$

מספר שטחי מגע נדרשים

בלאי אחיד $p \cdot v = \text{const}$ $i_m = \frac{8 \cdot M_f}{\mu \cdot \pi \cdot d \cdot [p] \cdot (D^2 - d^2)}$ $i_m = \frac{8 \cdot M_f}{\mu \cdot \pi \cdot d \cdot [p] \cdot D^3 \cdot (\beta - \beta^3)}$	שטח אחיד $p = \text{const}$ $i_m = \frac{12 \cdot M_f}{\mu \cdot \pi \cdot [p] \cdot (D^3 - d^3)}$ $i_m = \frac{12 \cdot M_f}{\mu \cdot \pi \cdot [p] \cdot D^3 \cdot (1 - \beta^3)}$
--	---

מספר דסקות מצמד דרוש

$$Z = i_m + 1$$

i_m מספר שטחי מגע בין דיסקות המצמד
 Z מספר דיסקות המצמד (מספר שלם)

עמידת המצמד בתנאי החוזק

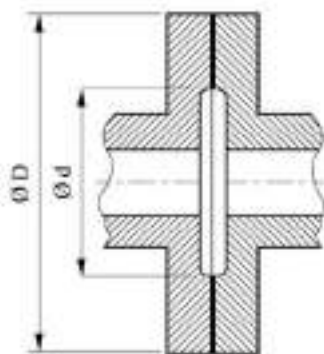
(1) מומנט חיכוך דרוש לתכנון המצמד

$$M_f = 9.55 \cdot 10^6 \cdot \frac{H \cdot f}{n}$$

M_f	מומנט חיכוך דרוש לתכנון המצמד	Nmm
H	הספק	kW
n	מספר סיבובים	rpm
f	מקדם תנאי עבודה (נתון)	

(2) כוח הצמדה נדרש להעברת ההספק

בלאי אחיד $p_v = \text{const}$ $F_a = \frac{4 \cdot M_f}{\mu \cdot i_m \cdot (D + d)}$	שטח אחיד $p = \text{const}$ $F_a = \frac{3 \cdot M_f \cdot (D^2 - d^2)}{\mu \cdot i_m \cdot (D^3 - d^3)}$
$F_a = \frac{4 \cdot M_f}{\mu \cdot i_m \cdot D \cdot (1 + \beta)}$	$F_a = \frac{3 \cdot M_f \cdot (1 - \beta^2)}{\mu \cdot i_m \cdot D \cdot (1 - \beta^3)}$



M_f	מומנט חיכוך דרוש לתכנון המצמד	Nmm
μ	מקדם חיכוך בין דיסקות המצמד	
i_m	מספר שטחי מגע בין דיסקות המצמד	
	(לא נתון, הנח: $i_m = 1$)	
$[p]$	לחץ מגע מותר בין דיסקות המצמד	MPa
D	קוטר חיצוני של המצמד	mm
d	קוטר פנימי של המצמד	mm
β	יחס קטרים	

$$\beta = \frac{d}{D}$$

המשך בעמוד הבא

עמידת המצמד בתנאי החוזק – המשך מעמוד קודם

(3) תנאי חוזק

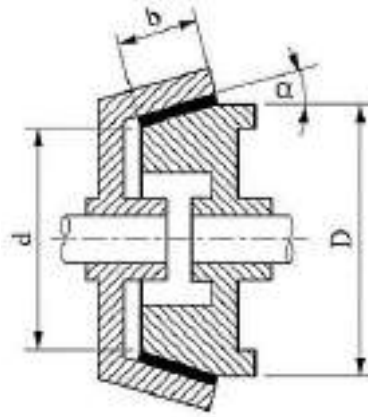
בלאי אחיד $p \cdot v = \text{const}$ $p = \frac{2 \cdot F_a}{\pi \cdot d \cdot (D - d)} \leq [p]$ $p = \frac{2 \cdot F_a}{\pi \cdot D^2 \cdot (\beta - \beta^2)} \leq [p]$	שטח אחיד $p = \text{const}$ $p = \frac{4 \cdot F_a}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} \leq [p]$ $p = \frac{4 \cdot F_a}{\pi \cdot D^2 \cdot (1 - \beta^2)} \leq [p]$
--	---

F_a	כוח הצמדה (כוח צירי)	N
$[p]$	לחץ מגע מוותר בין דיסקות המצמד	MPa
D	קוטר חיצוני של המצמד	mm
d	קוטר פנימי של המצמד	mm
β	יחס קטרים	

$$\beta = \frac{d}{D}$$

מצמד קוני

מאפשר הצמדה או הפרדה בין הגלים המחוברים בכל פעם שהדבר נחוץ לפעולת המכלול.



קיימים שני סוגים:

* מצמד תופים קשיחים

בתחילת עבודת המצמד מתרחש בלאי מרבי באזורים המרוחקים מהציר, לאחר שנוצר בלאי משתנה פילוג הלחצים כך שהבלאי יישאר קבוע בכל אזורי המגע (בלאי אחיד).

במצמד זה מתקיים התנאי: $p \cdot v = \text{const}$

* מצמד דיסקות גמישות

המצמד כולל קפיצים להבטיח לחץ שטח אחיד בכל שטח המגע.

במצמד זה מתקיים התנאי: $p = \text{const}$

יחס קטרים

$$\beta = \frac{d}{D} = \frac{1 - \psi \cdot \sin \alpha}{1 + \psi \cdot \sin \alpha}$$

β	יחס קטרים
D	קוטר חיצוני של המצמד
d	קוטר פנימי של המצמד
α	זווית הקונוס
ψ	יחס רוחב מצמד לקוטר ממוצע
לא נתון, הנח: $\psi = 0.2$	

זווית קונוס

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{2 \cdot b}{D + d} \right) = \sin^{-1} \left[\frac{1 - \beta}{(1 + \beta) \cdot \psi} \right]$$

°	זווית הקונוס	α
mm	קוטר חיצוני של המצמד	D
mm	קוטר פנימי של המצמד	d
	יחס קטרים	β

$$\beta = \frac{d}{D}$$

ψ יחס רוחב מצמד לקוטר ממוצע
לא נתון, הנח: $\psi = 0.2$

יחס קוטר ממוצע רוחב מצמד

$$\psi = \frac{b}{D_m} = \frac{2 \cdot b}{D + d}$$

	יחס רוחב מצמד לקוטר ממוצע	ψ
mm	רוחב מצמד	b
mm	קוטר ממוצע	D_m
mm	קוטר חיצוני של המצמד	D
mm	קוטר פנימי של המצמד	d

הספק מרבי המועבר באמצעות המצמד

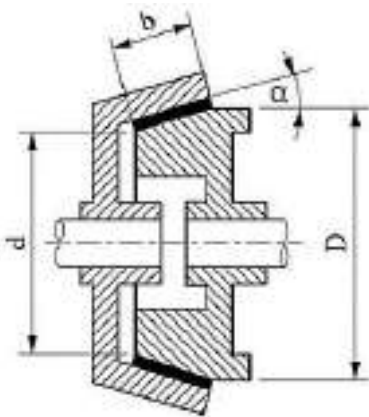
דרך א'

(1) כוח הצמדה מותר (מרבי) בין דיסקות המצמד

בלאי אחיד $p \cdot v = \text{const}$ $[F_a] = \frac{\pi \cdot d \cdot [p]}{2} \cdot (D - d)$	שטח אחיד $p = \text{const}$ $[F_a] = \frac{\pi}{4} \cdot [p] \cdot (D^2 - d^2)$
--	---

N	כוח הצמדה (כוח צירי) מותר	$[F_a]$
MPa	לחץ מגע <u>מותר</u> בין דיסקות המצמד	$[p]$
mm	קוטר חיצוני של המצמד	D
mm	קוטר פנימי של המצמד	d

(2) 'רדיוס חיכוך'



בלאי אחיד $p \cdot v = \text{const}$ $R_f = \frac{D + d}{4}$	שטח אחיד $p = \text{const}$ $R_f = \frac{1}{3} \cdot \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}$
--	---

mm	'רדיוס חיכוך' R_f
mm	קוטר חיצוני של המצמד D
mm	קוטר פנימי של המצמד d

(3) מומנט חיכוך מרבי

$$M_f = \frac{\mu \cdot F_a \cdot R_f}{\sin \alpha}$$

Nmm	מומנט חיכוך M_f
	μ מקדם חיכוך בין דיסקות המצמד
N	כוח הצמדה (כוח צירי) F_a
mm	'רדיוס חיכוך' R_f
°	זווית הקונוס α

הספק המועבר באמצעות המצמד (דרך א') – המשך מעמוד קודם

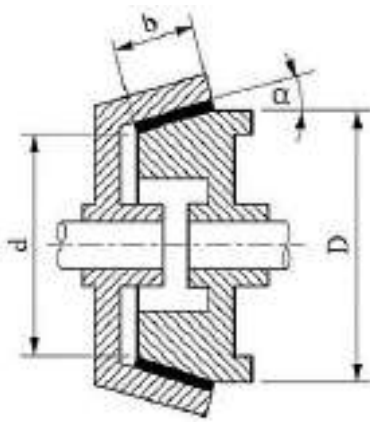
(4) הספק מועבר

$$H = \frac{M_f \cdot n}{9.55 \cdot 10^6 \cdot f}$$

kW	הספק ⁹⁰	H
Nmm	מומנט סיבוב דרוש (נקוב) להעברת ההספק ⁹¹	M_t
rpm	מספר סיבובים	n
	מקדם תנאי עבודה (נתון)	f

דרך ב'

בלאי אחיד $p v = \text{const}$ $H = \frac{\pi \cdot \mu \cdot [p] \cdot d \cdot n}{9.55 \cdot 10^6 \cdot f \cdot 8 \cdot \sin \alpha} \cdot (D^2 - d^2)$	שטח אחיד $p = \text{const}$ $H = \frac{\pi \cdot \mu \cdot [p] \cdot n}{9.55 \cdot 10^6 \cdot f \cdot 12 \cdot \sin \alpha} \cdot (D^3 - d^3)$
--	--



kW	הספק	H
	מקדם חיכוך בין דיסקות המצמד	μ
°	זווית הקונוס	α
rpm	מספר סיבובים	n
	מקדם תנאי עבודה (נתון)	f
MPa	לחץ מגע מותר בין דיסקות המצמד	$[p]$
mm	קוטר חיצוני של המצמד	D
mm	קוטר פנימי של המצמד	d

⁹⁰ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באתר **P** (קיצור המילה Power) לסימון המושג **הספק** הוא יחליף את השימוש באתר **H**.
⁹¹ במידה ומכללה שלך נמדד המומנט ביחידות Nm חלק נוסחה זו ל-9550.

ממדי המצמד

מומנט חיכוך דרוש לתכנון המצמד

$$M_f = 9.55 \cdot 10^6 \cdot \frac{H \cdot f}{n}$$

M_f	מומנט חיכוך דרוש לתכנון המצמד	Nmm
H	הספק	kW
n	מספר סיבובים	rpm
f	מקדם תנאי עבודה (נתון)	

* חשב לפי דרישת התרגיל

קוטר חיצוני של המצמד

בלאי אחיד
 $pv = \text{const}$

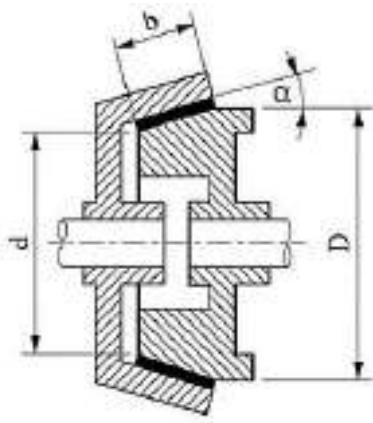
$$D = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot M_f \cdot \sin \alpha}{\mu \cdot \pi \cdot d \cdot [p]} + d^3}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot M_f \cdot \sin \alpha}{\mu \cdot \pi \cdot (\beta - \beta^3) \cdot [p]}}$$

שטח אחיד
 $p = \text{const}$

$$D = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot M_f \cdot \sin \alpha}{\mu \cdot \pi \cdot [p]} + d^3}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot M_f \cdot \sin \alpha}{\mu \cdot i_m \cdot \pi \cdot [p] \cdot (1 - \beta^3)}}$$



M_f	מומנט חיכוך דרוש לתכנון המצמד	Nmm
μ	מקדם חיכוך בין דיסקות המצמד	
α	זווית הקונוס	°
n	מספר סיבובים	rpm
f	מקדם תנאי עבודה (נתון)	
$[p]$	לחץ מגע מותר בין דיסקות המצמד	MPa
D	קוטר חיצוני של המצמד	mm
d	קוטר פנימי של המצמד	mm
β	יחס קטרים	

$$\beta = \frac{d}{D}$$

עמידת המצמד בתנאי החוזק

(1) מומנט חיכוך דרוש לתכנון המצמד

$$M_f = 9.55 \cdot 10^6 \cdot \frac{H \cdot f}{n}$$

M_f מומנט חיכוך דרוש לתכנון המצמד Nmm
 H הספק kW
 n מספר סיבובים rpm
 f מקדם תנאי עבודה (נתון)

(2) כוח הצמדה נדרש להעברת ההספק

בלאי אחיד

$$pv = \text{const}$$

$$F_a = \frac{4 \cdot M_f \cdot \sin \alpha}{\mu \cdot (D + d)}$$

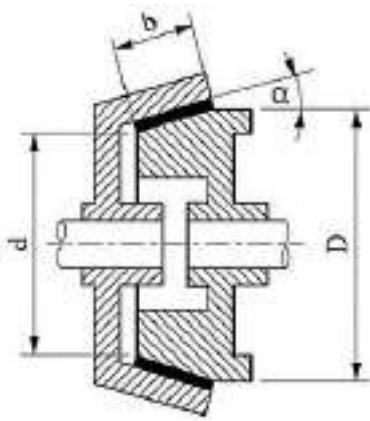
$$F_a = \frac{4 \cdot M_f \cdot \sin \alpha}{\mu \cdot D \cdot (1 + \beta)}$$

שטח אחיד

$$p = \text{const}$$

$$F_a = \frac{3 \cdot M_f \cdot \sin \alpha \cdot (D^2 - d^2)}{\mu \cdot (D^3 - d^3)}$$

$$F_a = \frac{3 \cdot M_f \cdot \sin \alpha \cdot (1 - \beta^2)}{\mu \cdot i_m \cdot D \cdot (1 - \beta^3)}$$



M_f מומנט חיכוך דרוש לתכנון המצמד Nmm
 μ מקדם חיכוך בין דיסקות המצמד
 α זווית הקונוס °
 $[p]$ לחץ מגע מותר בין דיסקות המצמד MPa
 D קוטר חיצוני של המצמד mm
 d קוטר פנימי של המצמד mm
 β יחס קטרים

$$\beta = \frac{d}{D}$$

המשך בעמוד הבא

עמידת המצמד בתנאי החוזק – המשך מעמוד קודם

(3) תנאי חוזק

בלאי אחיד $p \cdot v = \text{const}$ $p = \frac{2 \cdot F_a}{\pi \cdot d \cdot (D - d)} \leq [p]$ $p = \frac{2 \cdot F_a}{\pi \cdot D^2 \cdot (\beta - \beta^2)} \leq [p]$	שטח אחיד $p = \text{const}$ $p = \frac{4 \cdot F_a}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} \leq [p]$ $p = \frac{4 \cdot F_a}{\pi \cdot D^2 \cdot (1 - \beta^2)} \leq [p]$
--	---

F_a	כוח הצמדה (כוח צירי)	
$[p]$	לחץ מגע מוותר בין דיסקות המצמד	N
D	קוטר חיצוני של המצמד	MPa
d	קוטר פנימי של המצמד	mm
β	יחס קטרים	mm

$$\beta = \frac{d}{D}$$

כוח הצמדה

כוח בעבודה רציפה

$$F_a = \frac{M_f \cdot \sin \alpha}{\mu \cdot R_f}$$

כוח הצמדה

$$F_a = \frac{M_f}{\mu \cdot R_f} \cdot (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha)$$

כוח הפרדה

$$F_a = \frac{M_f}{\mu \cdot R_f} \cdot (\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha)$$

N	כוח הצמדה (כוח צירי)	F_a
Nmm	מומנט חיכוך דרוש לתכנון המצמד	M_f
mm	'רדיוס חיכוך'	R_f
°	זווית הקונוס	α

דוגמה 21

באיור לשאלה מתוארת תמסורת, המעבירה תנועה מהמנוע לצרכן דרך מצמד שטוח ① ומסרת רצועה שטוחה. הרצועה מונעת על-ידי שני גלגלי רצועה ② ו-③ בעלי קטרים זהים. המנוע מסתובב במהירות 1000 rpm.

הנח בלאי אחיד במצמד.

נתוני מצמד שטוח:

$$[p] = 0.2 \text{ MPa}$$

$$D = 220 \text{ mm}$$

$$d = 180 \text{ mm}$$

$$\mu = 0.5$$

$$f = 2$$

לחץ מגע מותר

קוטר חיצוני

קוטר פנימי

מקדם חיכוך בין שטחי המצמד

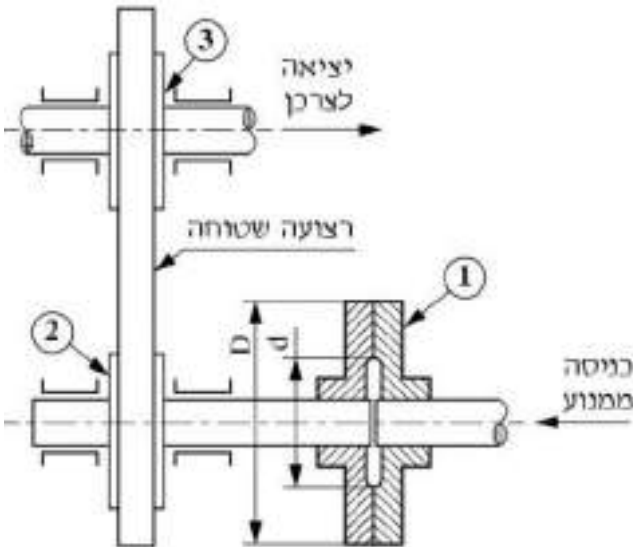
מקדם תנאי עבודה

דרוש:

א. הספק מרבי שניתן להעביר באמצעות המצמד השטוח.

ב. הספק מרבי שניתן להעביר אם המצמד השטוח יוחלף במצמד קוני עם זווית קונוס $\alpha = 12^\circ$.

שאר נתוני המצמד זהים לנתוני המצמד השטוח.



פתרון דוגמה 21

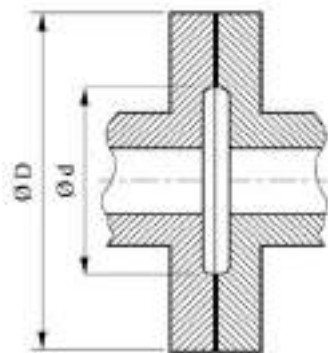
א. הספק מרבי שניתן להעביר באמצעות המצמד השטוח.

דרך א'

1. כוח הצמדה מותב (מרבי) בין דיסקות המצמד.

$$[F_a] = \frac{\pi \cdot d \cdot [p]}{2} \cdot (D - d) = \frac{\pi \cdot 180 \cdot 0.2}{2} \cdot (220 - 180) = 2262 \text{ N}$$

2. 'רדיוס חיכוך'



$$R_f = \frac{D + d}{4} = \frac{220 + 180}{4} = 100 \text{ mm}$$

3. מומנט חיכוך מרבי

$$M_f = \mu \cdot F_a \cdot R_f \cdot i_m = 0.5 \cdot 2262 \cdot 100 \cdot 1 = 113100 \text{ Nmm}$$

4. הספק מועבר

$$H = \frac{M_f \cdot n}{9.55 \cdot 10^6 \cdot f} = \frac{113100 \cdot 1000}{9.55 \cdot 10^6 \cdot 2} \cong 6 \text{ kW}$$

דרך ב'

$$H = \frac{\mu \cdot i_m \cdot n}{9.55 \cdot 10^6 \cdot f} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot [p] \cdot d \cdot (D^2 - d^2) = \frac{0.5 \cdot 1 \cdot 1000}{9.55 \cdot 10^6 \cdot 2} \cdot \frac{\pi}{8} \cdot 0.2 \cdot 180 \cdot (220^2 - 180^2) \cong 6 \text{ kW}$$

ב. הספק מרבי שניתן להעביר אם המצמד השטוח יוחלף במצמד קוני עם זווית קונוס $\alpha = 12^\circ$.

שאר נתוני המצמד זהים לנתוני המצמד השטוח.

דרך א'

$$M_f = \frac{\mu \cdot F_a \cdot R_f}{\sin \alpha} = \frac{0.5 \cdot 2262 \cdot 100}{\sin 12^\circ} = 543981 \text{ Nmm}$$

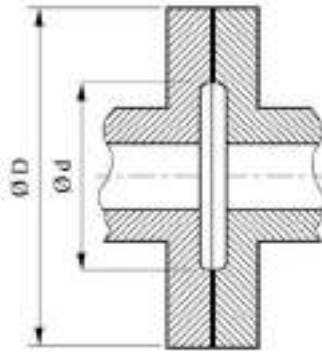
$$H = \frac{M_f \cdot n}{9.55 \cdot 10^6 \cdot f} = \frac{543981 \cdot 1000}{9.55 \cdot 10^6 \cdot 2} \cong 28.5 \text{ kW}$$

דרך ב'

$$H = \frac{\pi \cdot \mu \cdot [p] \cdot d \cdot n}{9.55 \cdot 10^6 \cdot f \cdot 8 \cdot \sin \alpha} \cdot (D^2 - d^2) = \frac{\pi \cdot 0.5 \cdot 0.2 \cdot 180 \cdot 1000}{9.55 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 8 \cdot \sin 12^\circ} \cdot (220^2 - 180^2) \cong 28.5 \text{ kW}$$

דוגמה 22

המצמד השטוח, המתואר באיור, מעביר הספק ב-1400 rpm.



- מקדם חיכוך בין שטחי המצמד $\mu = 0.3$
- יחס קטרים $\beta = 0.7$
- לחץ מגע מותר $[p] = 1 \text{ MPa}$
- מקדם תנאי עבודה $f = 1.5$
- המצמד יחושב לפי שטח אחיד $p = \text{const}$
- חשב את קטרי המצמד.

פתרון דוגמה 22

מומנט חיכוך דרוש להעברת ההספק

$$M_f = 9.55 \cdot 10^6 \cdot \frac{H \cdot f}{n} = 9.55 \cdot 10^6 \cdot \frac{5 \cdot 1.5}{1400} = 51161 \text{ Nmm}$$

קוטר חיצוני

$$D = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot M_f}{\mu \cdot i_m \cdot \pi \cdot [p] \cdot (1 - \beta^3)}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 51161}{0.3 \cdot 1 \cdot \pi \cdot 1 \cdot (1 - 0.7^3)}} \cong 100 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{d}{D}$$

$$0.7 = \frac{d}{100}$$

$$d = 70 \text{ mm}$$

בדיקת התחממות

תנאי חוזק

$$p \cdot v < [p \cdot v]$$

p לחץ מגע מתפתח במצמד MPa
 v מהירות היקפית של המצמד m/sec
 $[p \cdot v]$ התחממות מותרת $\frac{MPa \cdot m}{s}$

מהירות הקפית

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60000}$$

v מהירות היקפית של המצמד m/sec
 D קוטר חיצוני של המצמד mm
 n מספר סיבובים rpm

$$[p \cdot v] = (4.5 \div 5) \frac{MPa \cdot m}{s} \quad \text{מצמד שטוח}$$

$$[p \cdot v] = (3.5 \div 4) \frac{MPa \cdot m}{s} \quad \text{מצמד קוני}$$

מקדם חיכוך μ ולחץ שטח מותר $[p]$ של חומרי רפידות

$[p]$ MPa	μ	תנאי עבודה וחומרים
עם שימון		
$0.6 \div 0.8$	0.06	פלדה מחוסמת על פלדה מחוסמת
$0.6 \div 0.8$	0.08	יצקת ברזל על יצקת ברזל או פלדה מחוסמת
$0.4 \div 0.6$	0.12	טקסטולית על פלדה
0.9	0.06	סגסוגות של מתכת וקרמיקה על פלדה מחוסמת
2	$0.05 \div 0.1$	אבקת מתכות מסונטורות על פלדה מחוסמת
ללא שימון		
$0.2 \div 0.3$	0.15	יצקת ברזל על יצקת ברזל או פלדה מחוסמת
$0.2 \div 0.3$	0.3	אריג של אסבסט כבוש על פלדה או על יצקת ברזל
0.3	0.3	סגסוגות של מתכת וקרמיקה על פלדה מחוסמת
3	$0.1 \div 0.3$	אבקת מתכות מסונטורות על פלדה מחוסמת

15. קפיצים

נתון אינדקס קפיץ – e , דרוש קטרי הקפיץ

(1) חשבו אינדקס קפיץ

$$e = \frac{D}{d}$$

e אינדקס הקפיץ
 D קוטר קפיץ ממוצע mm
 d קוטר תיל הקפיץ mm

(2) קבעו מקדם תיקון מאמץ – k (מטבלה או חשב מהנוסחה מטה)

$$k = \frac{4e - 1}{4e - 4} + \frac{0.615}{e}$$

k מקדם תיקון מאמץ
 e אינדקס הקפיץ

(3) חשבו קוטר תיל

$$d = \sqrt{\frac{8 \cdot e \cdot k \cdot F_{\max}}{\pi \cdot [\tau_t]}}$$

d קוטר תיל הקפיץ mm
 e אינדקס הקפיץ
 k מקדם תיקון מאמץ
 $F_{\max}$ כוח מרבי הפועל על הקפיץ N
 $[\tau_t]$ מאמץ פיתול מותב לחומר הקפיץ MPa
 σ_y מאמץ כניעה של חומר הקפיץ MPa
 S מקדם בטחון
 לא נתון, הנח: $S = 1.4$

לא נתון חשב מאמץ מותר לחומר תיל הקפיץ

$$[\tau_t] = 0.6 \cdot \frac{\sigma_y}{S}$$

(4) בחר קוטר תיל תקני

מידה מועדפת	1.8	2	2.25	2.5	2.8	3.2	3.6	4	4.5	5
מידה שאינה מועדפת	1.9	2.1	2.4	2.6	3	3.4	3.8	4.25	4.75	5.3
מידה מועדפת	5.6	6.3	7	8	9	10	11	12.5	14	16
מידה שאינה מועדפת	6	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	13	15	17

(5) חשבו קוטר ממוצע של הקפיץ

$$D = e \cdot d$$

e	אינדקס הקפיץ
D	קוטר קפיץ ממוצע
d	קוטר תיל הקפיץ

נתון קוטר ממוצע – D, לא נתון אינדקס קפיץ – e, דרוש קוטר

תיל

(1) חשבו קוטר תיל קפיץ

$$d = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot k \cdot F_{\max} \cdot D}{\pi \cdot [\tau_t]}} = \sqrt{\frac{8 \cdot e \cdot k \cdot F_{\max}}{\pi \cdot [\tau_t]}}$$

mm	d	קוטר תיל הקפיץ
N	$F_{\max}$	כוח מרבי הפועל על הקפיץ
MPa	$[\tau_t]$	מאמץ פיתול מותר לחומר הקפיץ
mm	D	קוטר קפיץ ממוצע
	k	מקדם תיקון מאמץ
	k = 1.21: הנח: לא נתון	
	e	אינדקס הקפיץ
	e = 7: הנח: לא נתון	
MPa	σ_y	מאמץ כניעה של חומר הקפיץ
	S	מקדם בטחון
	S = 1.4: הנח: לא נתון	

לא נתון חשב מאמץ מותר לחומר תיל הקפיץ

$$[\tau_t] = 0.6 \cdot \frac{\sigma_y}{S}$$

(2) בחר קוטר תיל תקני

מידה מועדפת	1.8	2	2.25	2.5	2.8	3.2	3.6	4	4.5	5
מידה שאינה מועדפת	1.9	2.1	2.4	2.6	3	3.4	3.8	4.25	4.75	5.3
מידה מועדפת	5.6	6.3	7	8	9	10	11	12.5	14	16
מידה שאינה מועדפת	6	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	13	15	17

המשך בעמוד הבא

קוטר תיל המשך מעמוד קודם

(3) בדיקת עמידת קוטר תיל בתנאי החוזק

א. חשב אינדקס קפיץ

$$e = \frac{D}{d}$$

e אינדקס הקפיץ
 D קוטר קפיץ ממוצע mm
 d קוטר תיל הקפיץ mm

ב. קבעו מקדם תיקון מאמץ – k (מטבלה או חשב מהנוסחה מטה)

$$k = \frac{4e - 1}{4e - 4} + \frac{0.615}{e}$$

k מקדם תיקון מאמץ
 e אינדקס הקפיץ

ג. בדקו עמידה בתנאי חוזק

$$\tau_t = \frac{8 \cdot e \cdot k \cdot F_{\max}}{\pi \cdot d^2} \leq [\tau_t]$$

$$\tau_t = \frac{8 \cdot k \cdot F_{\max} \cdot D}{\pi \cdot d^3} \leq [\tau_t]$$

τ_t	מאמץ פיתול מתפתח בתיל הקפיץ	MPa
e	אינדקס הקפיץ	
k	מקדם תיקון מאמץ	
$F_{\max}$	כוח <u>מרב</u> הפועל על הקפיץ	N
d	קוטר תיל הקפיץ	mm
$[\tau_t]$	מאמץ פיתול <u>מותר</u> לחומר הקפיץ	MPa
D	קוטר קפיץ ממוצע	mm

ד. רשמו מסקנה: "קוטר התיל עומד/אינו עומד בתנאי החוזק"

בדיקת עמידת חומר הקפיץ בתנאי החוזק

א. חשבו אינדקס קפיץ

$$e = \frac{D}{d}$$

e אינדקס הקפיץ
 D קוטר קפיץ ממוצע mm
 d קוטר תיל הקפיץ mm

ב. קבעו מקדם תיקון מאמץ – k (מטבלה או חשב מהנוסחה מטה)

$$k = \frac{4e - 1}{4e - 4} + \frac{0.615}{e}$$

k מקדם תיקון מאמץ
 e אינדקס הקפיץ

ג. בדקו עמידה בתנאי חוזק

$$\tau_t = \frac{8 \cdot e \cdot k \cdot F_{\max}}{\pi \cdot d^2} \leq [\tau_t]$$

$$\tau_t = \frac{8 \cdot k \cdot F_{\max} \cdot D}{\pi \cdot d^3} \leq [\tau_t]$$

τ_t	מאמץ פיתול מתפתח בתיל הקפיץ	MPa
e	אינדקס הקפיץ	
k	מקדם תיקון מאמץ	
$F_{\max}$	כוח <u>מרי</u> הפועל על הקפיץ	N
d	קוטר תיל הקפיץ	mm
$[\tau_t]$	מאמץ פיתול <u>מותר</u> לחומר הקפיץ	MPa
D	קוטר קפיץ ממוצע	mm

ד. רשמו מסקנה: "קוטר התיל עומד/אינו עומד בתנאי החוזק"

נתונים ממדי הקפיץ, דרוש מקדם בטחון בו תוכנן הקפיץ

א. חשבו אינדקס קפיץ

$$e = \frac{D}{d}$$

e אינדקס הקפיץ
 D קוטר קפיץ ממוצע mm
 d קוטר תיל הקפיץ mm

ב. קבעו מקדם תיקון מאמץ – k (מטבלה או חשב מהנוסחה מטה)

$$k = \frac{4e - 1}{4e - 4} + \frac{0.615}{e}$$

k מקדם תיקון מאמץ
 e אינדקס הקפיץ

ג. חשבו מאמץ פיתול מתפתח

$$\tau_t = \frac{8 \cdot e \cdot k \cdot F_{\max}}{\pi \cdot d^2} = \frac{8 \cdot k \cdot F_{\max} \cdot D}{\pi \cdot d^3}$$

τ_t מאמץ פיתול מתפתח בתיל הקפיץ MPa
 e אינדקס הקפיץ
 k מקדם תיקון מאמץ
 $F_{\max}$ כוח **מרב** הפועל על הקפיץ N
 d קוטר תיל הקפיץ mm
 D קוטר קפיץ ממוצע mm

המשך בעמוד הבא

ד. חשבו מאמץ כניעה בפיתול

$$\tau_y = 0.6 \cdot \sigma_y$$

τ_y	מאמץ כניעה בפיתול	MPa
σ_y	מאמץ כניעה של חומר הקפיץ	MPa

ה. חשבו מקדם בטחון בתחון תכנוני

$$S = \frac{\tau_y}{\tau_t}$$

S	מקדם בטחון לתכנון	
τ_y	מאמץ כניעה בפיתול	MPa
τ_t	מאמץ פיתול <u>מתפתח</u> בתיל הקפיץ	MPa

קבוע הקפיץ

הגדרה: " יחס בין הכוח הפועל על קפיץ לתזוזה יחסית של הקפיץ" (רובוט הוק).

$$C = \frac{F}{f}$$

$\frac{N}{mm}$	C קבוע הקפיץ
N	F כוח הפועל על הקפיץ
mm	f שקיעת הקפיץ

אפשרויות חישוב נוספות

$$C = \frac{\Delta F}{\Delta f} = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n} = \frac{G \cdot d}{8 \cdot e^3 \cdot n}$$

$\frac{N}{mm}$	C קבוע הקפיץ
N	ΔF הפרש כוחות
mm	Δf הפרש שקיעה
$\frac{N}{mm}$	C קבוע הקפיץ
MPa	G מודול גזירה של חומר הקפיץ
mm	d קוטר תיל הקפיץ
mm	D קוטר קפיץ ממוצע
	e אינדקס הקפיץ
	n מספר כריכות פעילות של הקפיץ

מספר כריכות הקפיץ

מספר כריכות כולל

$$n_{tot} = n + n_s$$

n_{tot} מספר כריכות כולל של הקפיץ
 n מספר כריכות פעילות של הקפיץ
 n_s מספר כריכות סטטיות של הקפיץ

מספר כריכות פעילות

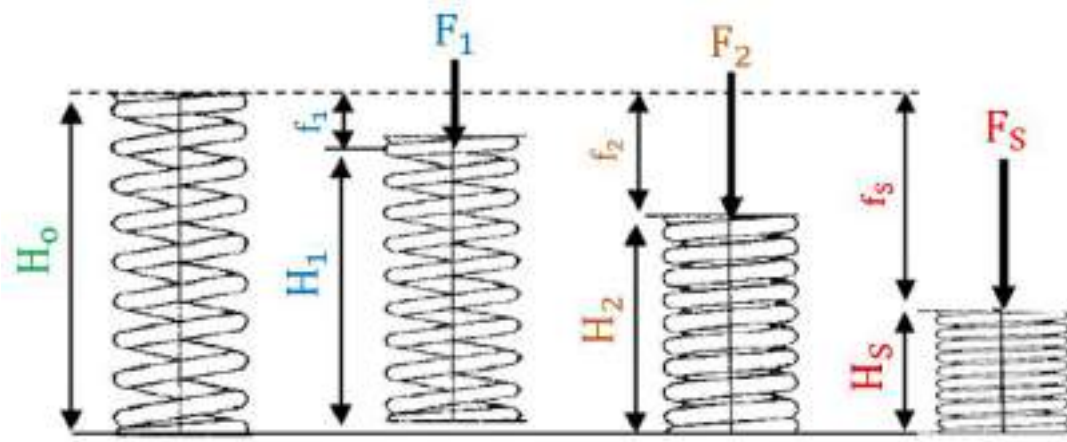
$$n = \frac{G \cdot d}{8 \cdot e^3 \cdot C} = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot C}$$

n מספר כריכות קפיץ פעילות
 G מודול גזירה של חומר הקפיץ MPa
 d קוטר תיל הקפיץ mm
 e אינדקס הקפיץ
 C קבוע הקפיץ $\frac{N}{mm}$
 D קוטר קפיץ ממוצע mm

מספר כריכות סטטיות

n_s	צורת קצה הקפיץ
0	קצה רגיל
0	קצה רגיל מושחז
2	קצה מכופף
2	קצה מכופף ומושחז

מצבי עבודת הקפיץ



מצב משוחרר

כוח הפועל על הקפיץ
שקיעה ממצב התחלתי
אורך קפיץ

$$F = 0$$

$$f = 0$$

$$H_0 = p \cdot n_{tot}$$

mm	אורך קפיץ במצב חופשי	H_0
mm	פסיעת הקפיץ	p
	מספר כריכות <u>כולל</u> של הקפיץ	n_{tot}
mm	אורך קפיץ בעומס ראשוני	H_1
mm	שקיעת הקפיץ ממצב משוחרר לעומס	f_1
mm	אורך קפיץ במצב עבודה	H_2
mm	שקיעת הקפיץ ממצב משוחרר לעומס	f_2
mm	אורך קפיץ במצב נעול	H_S
mm	שקיעת הקפיץ ממצב משוחרר למצב	f_S

$$H_0 = H_1 + f_1$$

$$H_0 = H_2 + f_2$$

$$H_0 = H_S + f_S$$

אורך ביחס למצבי הקפיץ

עומס ראשוני

N	כוח הפועל על הקפיץ	F_1	
mm	שקיעה ממצב התחלתי	$f_1 = \frac{F_1}{C}$	
$\frac{N}{mm}$	קבוע הקפיץ	C	
mm	הפרש שקיעה	Δf	$\Delta f = f_2 - f_1$
mm	שקיעה ממצב משוחרר לעומס עבודה	f_2	
mm	אורך קפיץ בעומס ראשוני	H_1	$H_1 = H_0 - f_1$
mm	אורך קפיץ במצב חופשי	H_0	
mm	שקיעה ממצב משוחרר לעומס ראשוני	f_1	
mm	אורך קפיץ במצב עבודה	H_2	$H_1 = H_2 + \Delta f$

עומס עבודה

N	כוח הפועל על הקפיץ	F_2	
mm	שקיעה ממצב התחלתי	$f_2 = \frac{F_2}{C}$	
$\frac{N}{mm}$	קבוע הקפיץ	C	
mm	הפרש שקיעה	Δf	$\Delta f = f_2 - f_1$
N	כוח במצב עומס עבודה	F_2	
N	כוח במצב עומס ראשוני	F_1	$\Delta f = \frac{F_2 - F_1}{C}$
mm	אורך קפיץ במצב עבודה	H_2	$H_2 = H_0 - f_2$
mm	אורך קפיץ במצב חופשי	H_0	
mm	אורך קפיץ בעומס ראשוני	H_1	$H_2 = H_1 - \Delta f$
mm	אורך קפיץ במצב נעול	H_S	$H_2 = 1. \bar{x} \cdot H_S$
	אחוזי מרווח מנעילת הקפיץ	x	

לא נתון, הנח: $x = 0.1$ (10%)

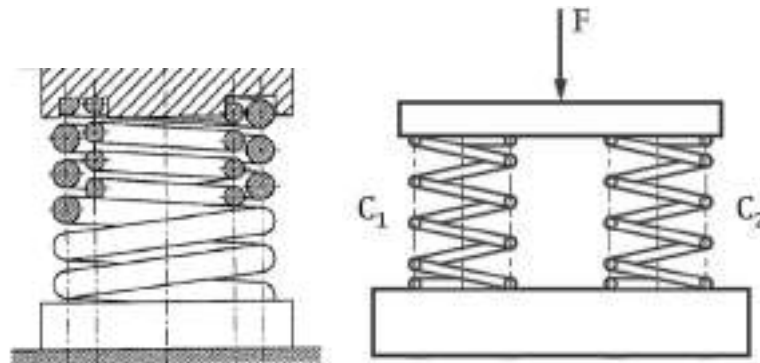
מצב נעול

N	כוח הגורם לסגירת מרווחי הקפיץ	F_S	F_S	כוח הפועל על הקפיץ
mm	שקיעת הקפיץ ממצב משוחרר למצב נעול	f_S	$f_S = \frac{F_S}{C}$	שקיעה ממצב <u>התחלתי</u>
$\frac{N}{mm}$	קבוע הקפיץ	C		
mm	אורך קפיץ במצב נעול	H_S	$H_S = H_0 - f_S$	אורך ביחס למצבי הקפיץ
mm	אורך קפיץ במצב חופשי	H_0		
mm	שקיעת הקפיץ ממצב משוחרר לעומס ראשוני	f_1		
mm	אורך קפיץ במצב נעול	H_S	$H_S = \frac{H_2}{1. x}$	
mm	אורך קפיץ במצב עבודה	H_2		
	אחוזי מרווח מנעילת הקפיץ	x		
	לא נתון, הנח : $x = 0.1$ (10%)			
mm	קוטר תיל הקפיץ	d	$H_S = d \cdot n_{tot}$	
	מספר כריכות כולל של הקפיץ	n_{tot}		

חיבור קפיצים

חיבור מקבילי

- * שקיעת מערכת הקפיצים **שווה** לשקיעה של קפיץ בודד.
- * הפעלת **כוח גדול יותר** מאשר קפיץ בודד יכול לשאת. הכוח הפועל מתחלק על פני כל הקפיצים (לדוגמה מזרן קפיצים).
- * התנגדותם השקולה (C_{tot}) **גדולה יותר** מההתנגדות של כל קפיץ בנפרד, ושווה לסכום ההתנגדויות הקפיצים.



$$C_{tot} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

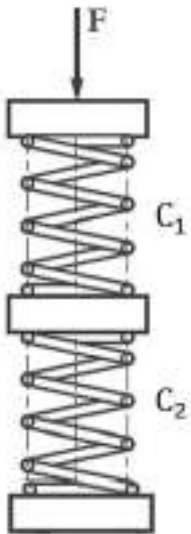
$$f_{tot} = f_1 = f_2 = \dots = f_n = \frac{F}{C_{tot}}$$

$$F_i = f \cdot C_i$$

$$f_i = \frac{F_i}{C_i}$$

התנגדות שקולה
שקיעת מערכת הקפיצים
כוח הפועל על קפיץ בודד
שקיעת קפיץ בודד

חיבור טורי



* שקיעת מערכת הקפיצים גדולה משקיעת קפיץ בודד.

* הפעלת כוח קטן יותר מאשר קפיץ בודד יכול לשאת.

* התנגדותם השקולה (C_{tot}) קטנה יותר מההתנגדות של כל קפיץ בנפרד.

* חיבור חלש יותר מחיבור קפיץ יחיד

התנגדות שקולה

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

כוח הפועל על מערכת הקפיצים $F = F_1 = F_2 = \dots = F_n = C_{tot} \cdot f_{tot}$

כוח הפועל על קפיץ בודד $F_i = f_i \cdot C_i$

שקיעת קפיץ בודד $f_i = \frac{F}{C_i}$

יציבות קפיץ בקריסה

תזכורת: קריסת מתרחשת כאשר גוף ארוך ביחס לקוטר הממוצע נתון ללחיצה. יציבות הקפיץ מושפעת מאופן הרכבת הקפיץ.

mm	גובה קפיץ במצב חופשי	H_0
mm	גובה קפיץ במצב עבודה מרבי (ראה מצבי עבודת)	H_2
mm	קוטר ממוצע של הקפיץ	D
mm ⁴	מומנט התמד שקול	I_e
N	כוח לחיצה קריטי	F_{cr}
MPa	מודול אלסטיות	E

פלדה: $E = 200000 \text{ MPa}$

מקדם יציבות בקריסה $[S_k]$

לא נתון, הנח: $[S_k] = 1.75$

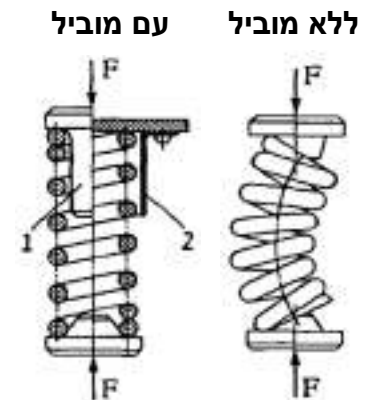
מספר כריכות פעילות של הקפיץ n

מקדם פואסון חומר התיל ν

מקדם אופן הרכבת קפיץ α

$\alpha = 1.0$ קפיץ ללא מוביל

$\alpha = 0.5$ קפיץ עם מוביל



תנאי לבדיקת קריסה

$$\frac{\alpha \cdot H_0}{D} > 2.62$$

הכוח המרבי המותר לקפיץ

$$F_{\max} = \frac{F_{cr}}{[S_k]}$$

כוח לחיצה לפי אוילר

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_e}{H_2^2}$$

מומנט התמד שקול

$$I_e = \frac{H_2 \cdot d^2}{32 \cdot n \cdot D \cdot (2 + \nu)}$$

דוגמה 21

שסתום מופעל באמצעות קפיץ לחיצה בורגי גלילי.

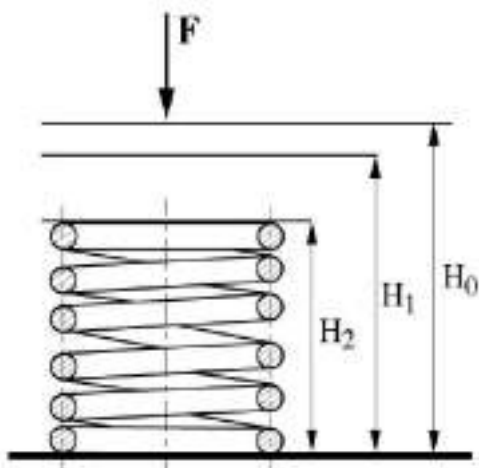
לקפיץ שלושה מצבים:

מצב 0 – מצב חופשי

מצב 1 – מצב הרכבה התחלתי (שסתום סגור)

מצב 2 – מצב עבודה – קפיץ לחץ (שסתום פתוח).

נתוני הקפיץ:



$$n = 11$$

$$n_s = 1$$

$$H_0 = 80 \text{ mm}$$

$$f_1 = 2 \text{ mm}$$

$$\Delta f = 12 \text{ mm}$$

$$G = 8 \cdot 10^4 \text{ MPa}$$

$$\tau_y / \sigma_y = 0.7$$

$$\sigma_y = 1100 \text{ MPa}$$

$$S = 1.2$$

$$d = 5 \text{ mm}$$

$$D = 40 \text{ mm}$$

מספר כריכות פעילות

מספר כריכות לא פעילות (סטטיות)

גובה קפיץ במצב חופשי

שקיעה התחלתית של הקפיץ

מהלך עבודה של הקפיץ (ממצב 1 למצב 2)

מודול גזירה של הקפיץ

יחס מאמץ גזירה / מאמץ מתיחה

מאמץ כניעה

מקדם בטחון

קוטר תיל

קוטר ממוצע של הקפיץ

דרוש:

א. קשיחות (קבוע) הקפיץ – C.

ב. כוח התחלתי – F_1 , כוח במצב עבודה – F_2 וכוח מקסימלי במצב קפיץ נעול – $F_{\max}$.

ג. מאמץ גזירה במצב קפיץ נעול ואת עמידת הקפיץ בדרישות החוזק.

ד. הסבירו מהו מקדם תיקון המאמץ – k ומדוע הוא נדרש.

פתרון דוגמה 21

א. קשיחות (קבוע) הקפיץ – C .

$$C = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n} = \frac{80000 \cdot 5^4}{8 \cdot 40^3 \cdot 11} \cong 9 \frac{N}{mm}$$

ב. כוח התחלתי – F_1 , כוח במצב עבודה – F_2 וכוח מקסימלי במצב קפיץ נעול – F_{max} .

$$f_1 = \frac{F_1}{C}$$

$$2 = \frac{F_1}{9}$$

$$F_1 = 18 \text{ mm}$$

$$\Delta f = \frac{F_2 - F_1}{C}$$

$$12 = \frac{F_2 - 18}{9}$$

$$F_2 = 126 \text{ N}$$

$$H_2 = 1.1 \cdot H_S$$

$$H_2 = H_0 - f_2 = 80 - 14 = 66 \text{ mm}$$

$$66 = 1.1 \cdot H_S$$

$$H_S = 60 \text{ mm}$$

דוגמה 21 המשך מעמוד קודם

$$H_S = H_0 - f_S$$

$$60 = 80 - f_S$$

$$f_S = 20 \text{ mm}$$

$$f_S = \frac{F_S}{C}$$

$$20 = \frac{F_S}{9}$$

$$F_S = 180 \text{ N}$$

ג. מאמץ גזירה במצב קפיץ נעול ואת עמידת הקפיץ בדרישות החוזק.

$$\tau_t = \frac{8 \cdot e \cdot k \cdot F_{\max}}{\pi \cdot d^3} \leq [\tau_t]$$

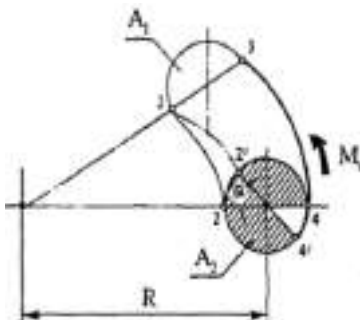
$$e = \frac{D}{d} = \frac{40}{5} = 8 \rightarrow k = 1.184$$

$$[\tau_t] = 0.7 \cdot \frac{\sigma_y}{S} = 0.7 \cdot \frac{1100}{1.2} = 642 \text{ MPa}$$

$$\tau_t = \frac{8 \cdot 8 \cdot 1.184 \cdot 180}{\pi \cdot 5^3} = 174 \text{ MPa} < [\tau_t] = 642 \text{ MPa}$$

ד. הסבירו מהו מקדם תיקון המאמץ – k ומדוע הוא נדרש.

חישוב מאמץ הפיתול בתיל הקפיץ נעשה כאשר רואים את תיל הקפיץ כמוט ישר. במציאות בשל צורת הקפיץ התיל אינו ישר ולכן המאמצים הנוצרים בשכבת התיל החיצונית גדולים מאלו הנוצרים בשכבת התיל הפנימית. לשם השוואה למוט ישר מכניסים לנוסחה מקדם תיקון – K.



מקדם תיקון מאמץ – k

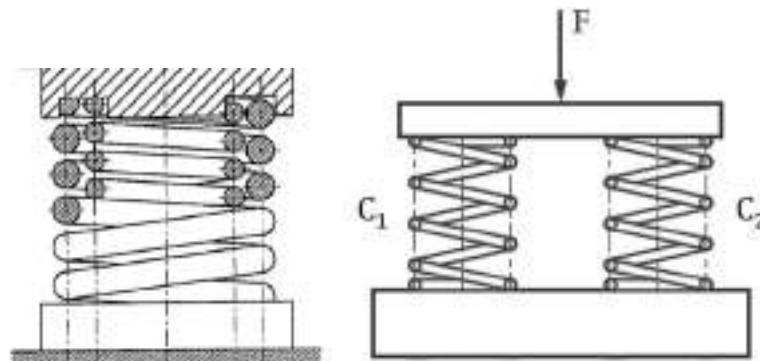
חישוב מאמץ הפיתול בתיל הקפיץ נעשה כאשר רואים את תיל הקפיץ כמוט ישר. במציאות בשל צורת הקפיץ התיל אינו ישר ולכן המאמצים הנוצרים בשכבת התיל החיצונית גדולים מאלו הנוצרים בשכבת התיל הפנימית. לשם השוואה למוט ישר מכניסים לנוסחה מקדם תיקון – K.

e	k	e	k	e	k	e	k	e	k	e	k
3.0	1.580	6.0	1.253	9.0	1.162	12.0	1.119	15.0	1.095	26.5	1.053
3.1	1.556	6.1	1.248	9.1	1.160	12.1	1.118	15.1	1.094	27.0	1.052
3.2	1.533	6.2	1.243	9.2	1.158	12.2	1.117	15.2	1.093	27.5	1.051
3.3	1.512	6.3	1.239	9.3	1.156	12.3	1.116	15.3	1.093	28.0	1.050
3.4	1.493	6.4	1.235	9.4	1.155	12.4	1.115	15.4	1.092	28.5	1.049
3.5	1.476	6.5	1.231	9.5	1.153	12.5	1.114	15.5	1.091	29.0	1.048
3.6	1.459	6.6	1.227	9.6	1.151	12.6	1.113	15.6	1.091	29.5	1.047
3.7	1.444	6.7	1.223	9.7	1.150	12.7	1.113	15.7	1.090	30.0	1.046
3.8	1.430	6.8	1.220	9.8	1.148	12.8	1.112	15.8	1.090	30.5	1.046
3.9	1.416	6.9	1.216	9.9	1.146	12.9	1.111	15.9	1.089	31.0	1.045
4.0	1.404	7.0	1.213	10.0	1.145	13.0	1.110	16.0	1.088	31.5	1.044
4.1	1.392	7.1	1.210	10.1	1.143	13.1	1.109	16.5	1.086	32.0	1.043
4.2	1.381	7.2	1.206	10.2	1.142	13.2	1.108	17.0	1.083	32.5	1.043
4.3	1.370	7.3	1.203	10.3	1.140	13.3	1.107	17.5	1.081	33.0	1.042
4.4	1.360	7.4	1.200	10.4	1.139	13.4	1.106	18.0	1.078	33.5	1.041
4.5	1.351	7.5	1.197	10.5	1.138	13.5	1.106	18.5	1.076	34.0	1.041
4.6	1.342	7.6	1.195	10.6	1.136	13.6	1.105	19.0	1.074	34.5	1.040
4.7	1.334	7.7	1.192	10.7	1.135	13.7	1.104	19.5	1.072	35.0	1.040
4.8	1.325	7.8	1.189	10.8	1.133	13.8	1.103	20.0	1.070		
4.9	1.318	7.9	1.187	10.9	1.132	13.9	1.102	20.5	1.068		
5.0	1.311	8.0	1.184	11.0	1.131	14.0	1.102	21.0	1.067		
5.1	1.304	8.1	1.182	11.1	1.130	14.1	1.101	21.5	1.065		
5.2	1.297	8.2	1.179	11.2	1.128	14.2	1.100	22.0	1.064		
5.3	1.290	8.3	1.177	11.3	1.127	14.3	1.099	22.5	1.062		
5.4	1.284	8.4	1.175	11.4	1.126	14.4	1.099	23.0	1.061		
5.5	1.278	8.5	1.172	11.5	1.125	14.5	1.098	23.5	1.060		
5.6	1.273	8.6	1.170	11.6	1.124	14.6	1.097	24.5	1.057		
5.7	1.267	8.7	1.168	11.7	1.123	14.7	1.097	25.0	1.056		
5.8	1.262	8.8	1.166	11.8	1.122	14.8	1.096	25.5	1.055		

חיבור קפיצים

חיבור מקבילי

- * שקיעת מערכת הקפיצים שווה לשקיעה של קפיץ בודד.
- * הפעלת כוח גדול יותר מאשר קפיץ בודד יכול לשאת. הכוח הפועל מתחלק על פני כל הקפיצים (לדוגמה מזרן קפיצים).
- * התנגדותם השקולה (C_{tot}) גדולה יותר מההתנגדות של כל קפיץ בנפרד, ושווה לסכום ההתנגדויות הקפיצים.



$$C_{tot} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

$$f_{tot} = f_1 = f_2 = \dots = f_n = \frac{F}{C_{tot}}$$

$$F_i = f \cdot C_i$$

$$f_i = \frac{F}{C_i}$$

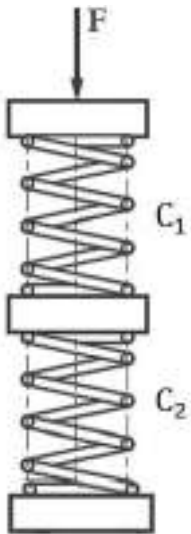
התנגדות שקולה

שקיעת מערכת הקפיצים

כוח הפועל על קפיץ בודד

שקיעת קפיץ בודד

חיבור טורי



* שקיעת מערכת הקפיצים גדולה משקיעת קפיץ בודד.

* הפעלת כוח קטן יותר מאשר קפיץ בודד יכול לשאת.

* התנגדותם השקולה (C_{tot}) קטנה יותר מההתנגדות של כל קפיץ בנפרד.

* חיבור חלש יותר מחיבור קפיץ יחיד

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

התנגדות שקולה

$$F = F_1 = F_2 = \dots = F_n = C_{tot} \cdot f_{tot}$$

כוח הפועל על מערכת הקפיצים

$$F_i = f \cdot C_i$$

כוח הפועל על קפיץ בודד

$$f_i = \frac{F}{C_i}$$

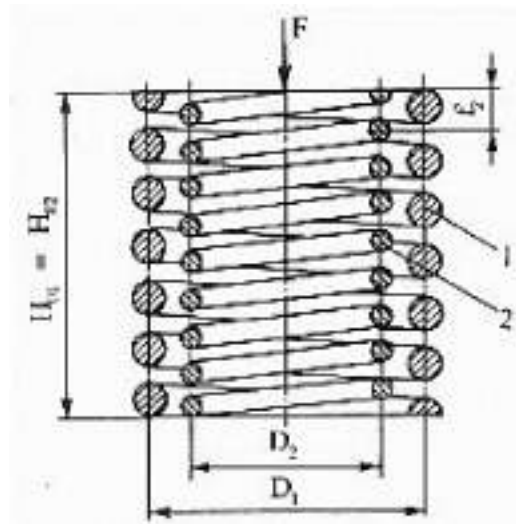
שקיעת קפיץ בודד

דוגמה 22

באיור לשאלה מתואר מערך של שני קפיצים בורגיים גליליים בעלי גובה שווה במצב חופשי השוקעים תחת כוח 3000 N במידה שווה.

נתונים:

$d_1 = 20 \text{ mm}$; $d_2 = 9 \text{ mm}$	קוטר תיל
$D_1 = 100 \text{ mm}$; $D_2 = 75 \text{ mm}$	קוטר ממוצע
$n_1 = 8$; $n_2 = 12$	כריכות פעילות
$G = 80000 \text{ MPa}$	מודול גזירה



דרוש: חלוקת הכוחות בין הקפיצים.

פתרון דוגמה 22

קבוע קפיץ

$$C = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n}$$

$$C_1 = \frac{80000 \cdot 20^4}{8 \cdot 75^3 \cdot 12} = 200 \frac{N}{mm}$$

$$C_2 = \frac{80000 \cdot 9^4}{8 \cdot 75^3 \cdot 12} \cong 14 \frac{N}{mm}$$

קבוע מערכת הקפיצים במקביל

$$C_{tot} = C_1 + C_2 = 200 + 14 = 214 \frac{N}{mm}$$

שקיעה כוללת של מערכת הקפיצים

$$f_{tot} = f_1 = f_2 = \frac{3000}{214} = 14 \text{ mm}$$

חלוקת הכוחות בין הקפיצים

$$F_i = f \cdot C_i$$

$$F_1 = 14 \cdot 200 = 2800 \text{ N}$$

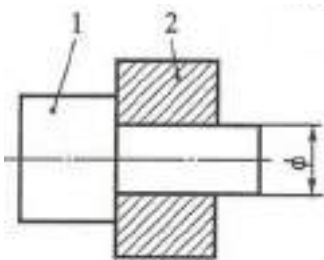
$$F_2 = 14 \cdot 14 = 196 \text{ N}$$

עיבוד שבבי

16. מידות בייצור

דיוק העיבוד מגדיר את הסטייה המותרת של מידות המוצר מדרישות הסרטוט.

הבעיה: מעוניינים לייצר במכונה מכלול בעל שני חלקים שיהיו **חליפיים**, כלומר שחלק ① כלשהו בסדרת ייצור ייכנס לחלק ② כלשהו בלי שום עבודת התאמה.

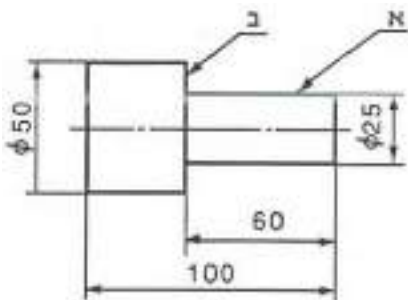


כדי לעמוד בדרישות עלינו להתמודד עם שלוש בעיות:

- מרקם הפנים (חספוס) של החלקים השונים אינו זהה. נשאלת השאלה מה רמת טיב השטח שגרוע ממנו החלק כבר לא יתפקד בהרכבה.

- מאחר ואין אפשרות לייצר מידות בעלות דיוק מוחלט, המתכנן צריך להחליט עד כמה המידה מתירה ("סובלת") סטייה ועדין תוכל לתפקד כראוי בחלק הנגדי בהרכבה.

- מכיוון שאין דרך לייצר דברים מוחלטים, כגון משטח א' לא ניצב באופן מושלם למשטח ב', על המתכנן להחליט עד כמה הסטייה מותרת מן הניצבות.



על אף שבמבט ראשון נראה שהדבר אפשרי, ברור לגמרי שאין אפשרות לייצר כמות חלקים הזזהים זה לזה מוחלטת, ויותר מזה, גם לא נוכל לייצר אפילו חלק אחד שבו המידות תהיינה מדויקות דיוק מוחלט כפי שנתון בסרטוט.

האם סרטוט זה מספק את כל הנתונים לייצור חלק כך שבכל אחד מהמשטחים יתפקד נכון במכלול ההרכבה?

יש להגדיר בכל סרטוט את התחום המותר של סטייה מהמידה, את מרקם הפנים הרצוי ואת התנוחה בין המשטחים.

טיב פני השטח (מרקם השטח)

חפפוס (בליטות, שקעים) הנוצר על פני השטח המעובד, כתוצאה מכלי העיבוד ומשיטת העיבוד.

השפעת טיב שטח על פעולת החלק

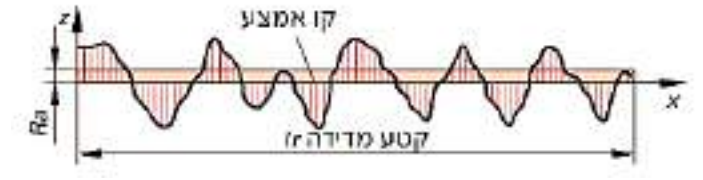
- **בלאי** – חלק בעל שטח מחוספס מתבלה מהר יותר מחלק בעל שטח חלק.
 - **חוזק** – חלק בעל טיב שטח חלק חזק יותר מחלק מחוספס (במיוחד בחומרים פריכים כמו פלדה מחוסמת).
 - **טיב חיבור קבוע** – חיבור קבוע מתקבל על-ידי אפיצה (התאמה) מסוג מדחק (לחץ) בין הגל והקדח.
- שטח חלק יותר = חיבור חזק יותר
- שטח מחוספס יותר = חיבור חלש יותר
- **שיתוך** (קורוזיה) – חלק בעל טיב שטח חלק, סובל פחות משיתוך מאשר חלק בעל טיב שטח גרוע.

פני שטח המוצר, המתקבלים לאחר העיבוד הם מחוספסים (בליטות ושקעים), הגורמים המשפיעים עליו הם:

- תנאי העיבוד (מהירות, קדמה, היגש, קירור)
- כלי חותך (רדיוס הפינה בכלי החותך)
- רעידות המכונה בזמן העיבוד (כתוצאה מחסור איזון של המכונה או העובד, חופשים במכונה, במתקן הדפינה או באחיזת כלי החיתוך)
- סוג החומר העובד.
- צורה וחוזק הדפינה
- סוג העיבוד
- שיטת העיצוב
- צורת כלי החיתוך



ערך החספוס הממוצע R_a – ממוצע אריתמטי המורכב מהערכים המוחלטים של כל ערכי הקואורדינטה Z של פרופיל החספוס, בתוך קטע מדידה בודד R_a שווה ערך לגובה של מלבן, שלו אותו השטח כמו השטח בין קו הפרופיל וקו האמצע.



$$R_a = \frac{\sum |Y_i|}{n}$$

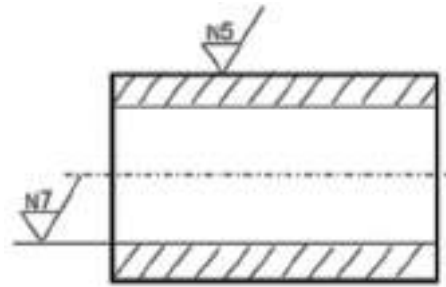
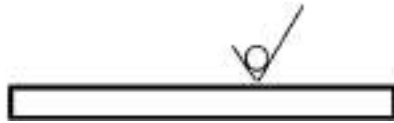
μm חספוס ממוצע R_a
 μm גובה מוחלט ביחס לקו אפס Y_i
 n מספר המדידות

המרקם מורכב מגל נושא – מבטא את גליות המשטח ומתקבל בשל אי דיוק העיבוד והוא בבחינת סטייה מהצורה הגיאומטרית הנתונה. על הגל הנושא רוכב גל צפוף – **חסיפות** (Roughness) הנוצרת בשל עקבות שמשאירים כלי העיבוד על-פני השטח שעובד.

קיימים מספר תקנים (ת"י 780, ISO 1302, DIN 3141) לסימון טיב העיבוד בסרטוט. התקנים מבוססים על גבהי החספוס של פני השטח במיקרונים ($1\mu = 0.001mm$) ועל ידי חישוב מתקבל מקדם ההשוואה למדידה המסומן ב- R_A .

	גס			בינוני			עדין			עדין מאוד		
תקן ISO	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1
תקן גרמני												
$R_a [\mu m]$	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025
$R_a [\mu in]$	2000	1000	500	250	125	63	32	16	8	4	2	1

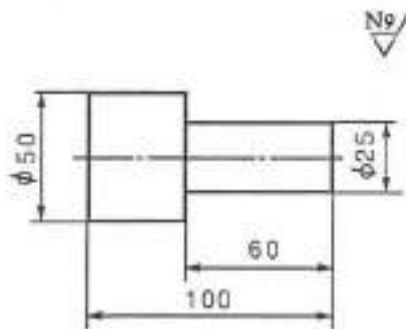
בכל שרטוט ייצור יש להגדיר את טיב השטח, ובלעדיו **לא ניתן** לייצר את המוצר. התקן הישראלי לטיב פני השטח קובע כי שטח בעל טיב מסוים מסומן על ידי, NX במקום X יש לשים מספר בין 1 ל-12.



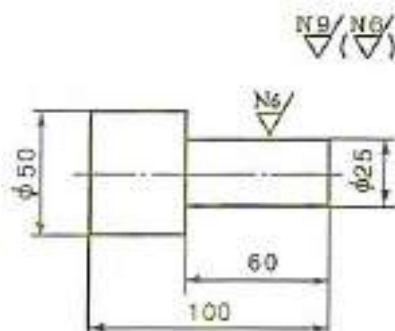
טיב שטח עבור משטח מעובד (קודקוד המשולש מסמן את השטח המעובד)
אין צורך בעיבוד והחומר

דוגמאות

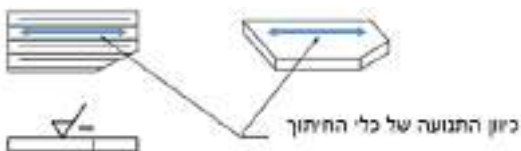
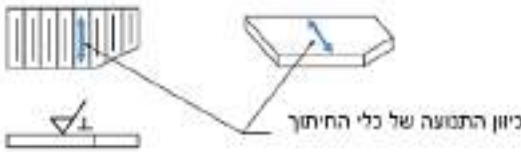
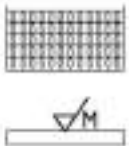
כל המשטחים יעובדו בעיבוד שבבי למרקם פנים המוגדר בתקן הישראלי N9, כלומר מרקם בעל חספוס בגובה ממוצע של 6.3 מיקרונים (0.0063 מ"מ).



כל המשטחים יעובדו בעיבוד שבבי למרקם N9 ורק המשטח הגלילי Ø25 יעובד למרקם פנים חלק יותר N6 (גובה ממוצע של 0.8 מיקרונים).



הסימונים של כיווני המרקמים

סימון בשרטוט	הסבר	סימן כיוון העיבוד
=	כיוון המרקם מקביל להיטל שהסימן מופיע עליו.	
⊥	כיוון המרקם ניצב להיטל שהסימן מופיע עליו.	
X	כיוון המרקם מוצלב לגבי ההיטל שהסימן מופיע עליו.	
M	למרקם מספר כיוונים שונים	
C	מרקם מעגלי בקירוב, ביחס למרכז השטח שהסימן מופיע עליו.	
R	מרקם רדיאלי בקירוב ביחס למרכז המשטח שהסימן מופיע עליו.	

טיב שטח המושג בעיבוד שבבי

גס			בינוני			עדין			עדין מאוד			דרגת טיב	שיטת עיבוד
N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1		
			■	■								עד Ø15	קידוח (Drilling)
		■	■									מעל Ø15	
	■	■	■	■	■	■	■						חריטה (Turning)
	■	■	■	■	■	■	■						כרסום (Milling)
■	■	■	■										הקצעה (Shaping)
					■	■	■						שיפוד (Broaching)
							■	■	■	■			השחזה (Grinding)
	■	■	■	■	■	■							שיוף (Filing)
								■	■	■	■		בירוק (Polishing)
							■	■	■	■			ליטוש (Lapping)
								■	■	■			מירוק פנימי (Honing)
										■	■		מירוק חיצוני

טיב פני שטח המושג בהכנת חומר גלם

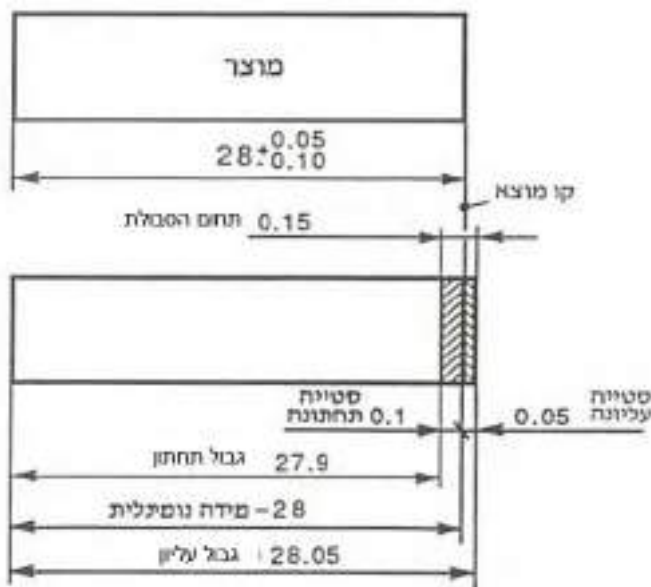
N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1	דרגת טיב	
■												חום	יציקת חול
■	■												יציקת דפוס - מתכת
	■	■	■										יציקת דפונות
	■	■	■	■									יציקת לחץ
■													חישול חופשי
■													חישול בטבעים
	■	■	■	■									כבישה במבלט
			■	■									ערגול
■	■												תפרי ריתוך
				■	■	■						קור	כבישה במבלט
				■	■	■	■						ערגול ראשוני
							■	■					ערגול צורתי (גמר)
				■	■	■	■						משיכה רגילה
								■	■				משיכה עדינה

דיוק עיבוד – סבולת מידה (טולרנס)

רכיבי מכונות חייבים להיות ברי הרכבה והחלפה ללא עיבוד חוזר ותלות יצרן. לקבלת חליפיות מלאה, יש צורך לייצר מוצרים זהים במידותיהם. אין אפשרות לייצר חלקים בדיוק "מוחלט", ובדרך כלל גם אין צורך לעשות זאת. כדי לאפשר חליפיות חלקים זה בזה בלי עיבוד נוסף, קובעים את מידות הדיוק בעזרת סבולות.

הגדרות יסוד לפי ת"י 622

מידה נומינלית (מידה בסיסית או מוצא) – המידה הרצויה היא המידה הרשומה בסרטוט. הסטיות המותרות בייצור נקבעות יחסית למידה זו.



גבול עליון – המידה **הגדולה** ביותר המותרת במוצר.

גבול תחתון – המידה **הקטנה** ביותר המותרת במוצר.

סטייה עליונה – ההפרש האלגברי בין הגבול העליון למידה הנומינלית.

סטייה תחתונה – ההפרש האלגברי בין הגבול התחתון למידה הנומינלית.

סבולת (סטייה) – הערך המוחלט של ההפרש בין הגבול העליון לגבול התחתון.

תחום הסבולת – הפרש בין סטייה עליונה לסטייה תחתונה.

$$\Delta A = u - d = 0.05 - (0.1) = 0.15$$

סבולת בסרטוט

1. סבולת חד צדדית חיובית $20^{+0.3}_{+0.1}$
2. סבולת חד צדדית חיובית וגבול תחתון "0" $20^{+0.3}_0$
3. סבולת סימטרית $20^{\pm 0.1}$
4. סבולת גבול עליון "0" חד צדדית שלילית $20^0_{-0.1}$
5. סבולת חד צדדית שלילית $20^{-0.1}_{-0.3}$

השלמת גבולות

חישוב	סרטוט	
$20^0_{-0.1}$	$20^{-0.1}$	השלמת גבול עליון "0"
$20^{+0.1}_0$	$20^{+0.1}$	השלמת גבול תחתון "0"
$20^{+0.4}_{-0.4}$	$20^{\pm 0.4}$	סבולת סימטרית
$20^{+0.3}_{-0.3}$	20	השלמת מידה סבולת כללית ± 0.3
$20^{+0.0065}_{-0.0065}$	20^{IT6}	השלמת מידה מטבלת IT
$20^{+0.021}_0$	20^{H7}	השלמת מידה לפי אפיצות
$20^{+0.2}_{-0.2}$	20	השלמת מידה לפי סבולת IS2768-m

סבולת כללית – ISO 2768

הסבולת של כל אותן מידות בעלות סבולת שווה שמיותר לרשום בכל פעם מחדש.

דוגמה: סבולת כללית: ± 0.5 . סבולת מחייבת עבור כל המידות שלא צוינה לידם סבולת.

תקן DIN150 (ISO 2768) מגדיר סבולות כלליות עבור מידות אורך התלויה בתחום מידה נומינלית וקבוצת הסבולת. בשיטת רישום זו גודל הסבולת משתנה לפי גודל המידה (קבוצת מידות). המתכנן בוחר את דיוק הסבולת הכללית התאם לדרישות ולתפקוד המוצר מתוך ארבע קבוצות דיוק:

קבוצת סבולת				תחום מידה נומינלית
גס מאוד v	גס c	בינוני m	עדין f	
---	± 0.15	± 0.10	± 0.05	3 - 0.5
± 0.50	± 0.20	± 0.10	± 0.05	6 - 3 <
± 1.00	± 0.50	± 0.20	± 0.10	30 - 6 <
± 1.50	± 0.80	± 0.30	± 0.15	120 - 30 <
± 2.50	± 1.20	± 0.50	± 0.20	400 - 120 <
± 4.00	± 2.00	± 0.80	± 0.30	100 - 400 <
± 6.00	± 3.00	± 1.20	± 0.50	200 - 1000 <
± 8.00	± 4.00	± 2.00	---	400 - 2000 <

סבולת כללית בשיטת IT לפי תקן DIN 7151

גם בשיטה זו יש התייחסות לדרגת הדיוק ולאורך המידה. בשיטה זו יש 16 דרגות דיוק שחולקו מ-1 (הסבולת המדויקת ביותר) עד 16 (הסבולת הגדולה ביותר).

טיב 0 עד 4 – עיבודי גמר מדויקים מאוד.

טיב 5 עד 9 – עיבוד שבבי

טיב 10 עד 12 מכונות חקלאיות

הדרגות מעל טיב 12 מיועדות למשטחים לא מעובדים בעיבוד שבבי.

הקשר בין סבולת IT לבין טיב פני השטח

סבולת IT										
IT12	IT11	IT10	IT9	IT8	IT7	IT6	IT5	IT4	IT3	מידה נומינלית
N10	N9	N8	N7	N7	N6	N5	N4	N4	N3	3 ≤
N10	N9	N8	N7	N7	N6	N6	N5	N4	N3	6 - 3 <
N10	N10	N9	N8	N7	N7	N6	N5	N4	N3	10 - 6 <
N10	N10	N9	N8	N8	N7	N6	N5	N4	N3	18 - 10 <
N11	N10	N9	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	30 - 18 <
N11	N10	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	50 - 30 <
N11	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	80 - 50 <
N11	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	180 - 120 <
N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	250 - 180 <
N12	N11	N11	N10	N9	N8	N7	N5	N4	---	315 - 215 <
N12	N11	N11	N10	N9	N8	N7	N5	---	---	400 - 315 <
N12	N11	N11	N10	N9	N8	N7	N5	---	---	500 - 400 <

הערות:

1. הדרגות הנתונות בטבלה הן המקסימליות ביחס לדרגות הסבולות.
2. עבור קדחים יש לבחור דרגת טיב N במספר הגבוה בדרגה אחת מהמצוין.
3. מותר בהתאם לדרישות לבחור דרגות טיב גבוהות מהמצוין.
4. מותר לבחור בדרגת טיב עיבוד הגרועה מהמצוין לכל היותר בדרגה אחת.

סבולות מידה תקניות ($IT/2$) – סבולות סימטריות, מחצית הסבולות מעל למידה ומחציתה מתחת למידה.

מכניקה עדינה מאוד (ייצור כלי מדידה)						
5	4	3	2	1	מידה נומינלית	
$\pm IT5/2$	$\pm IT4/2$	$\pm IT3/2$	$\pm IT2/2$	$\pm IT1/2$	עד..	מ...
0.0020	0.0015	0.0010	0.0006	0.0004	3	0
0.0025	0.0020	0.0012	0.0007	0.0005	6	3
0.0030	0.0020	0.0012	0.0007	0.0005	10	6
0.0040	0.0025	0.0015	0.0010	0.0006	18	10
0.0045	0.0030	0.0020	0.0012	0.0007	30	18
0.0055	0.0035	0.0020	0.0012	0.0007	50	30
0.0065	0.0040	0.0025	0.0015	0.0010	80	50
0.0075	0.0050	0.0030	0.0020	0.0012	120	80
0.0090	0.0060	0.0040	0.0025	0.0017	180	120
0.0100	0.0070	0.0050	0.0035	0.0022	250	180
0.0115	0.0080	0.0060	0.0040	0.0030	315	250
0.0125	0.0090	0.0065	0.0045	0.0035	400	315
0.0135	0.0100	0.0075	0.0050	0.0004	500	400

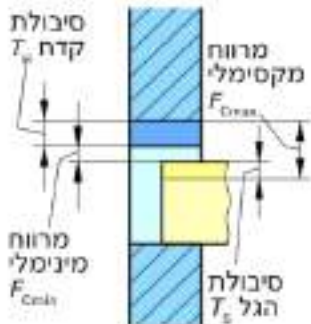
עיבוד שבבי מדויק ובינוני (השחזה, חריטה וכו')						
10	9	8	7	6	מידה נומינלית	
$\pm IT10/2$	$\pm IT9/2$	$\pm IT8/2$	$\pm IT7/2$	$\pm IT6/2$	עד..	מ...
0.0200	0.0125	0.0070	0.0050	0.0030	3	0
0.0240	0.0150	0.0090	0.0060	0.0040	6	3
0.0290	0.0180	0.0110	0.0075	0.0045	10	6
0.0350	0.0215	0.0135	0.0090	0.0055	18	10
0.0420	0.0260	0.0165	0.0105	0.0065	30	18
0.0500	0.0310	0.0195	0.0125	0.0080	50	30
0.0600	0.0370	0.0230	0.0150	0.0095	80	50
0.0700	0.0435	0.0270	0.0175	0.0110	120	80
0.0800	0.0500	0.0315	0.0200	0.0125	180	120
0.0925	0.0575	0.0360	0.0230	0.0145	250	180
0.1050	0.0650	0.0405	0.0260	0.0160	315	250
0.1150	0.0700	0.0445	0.0285	0.0180	400	315
0.1250	0.0775	0.0485	0.0315	0.0200	500	400

עיבוד שבבי מדויק ובינוני (השחזה, חריטה וכו')							
16	15	14	13	12	11	מידה נומינלית	
$\pm IT16/2$	$\pm IT15/2$	$\pm IT14/2$	$\pm IT13/2$	$\pm IT12/2$	$\pm IT11/2$	עד..	מ...
0.3000	0.2000	0.0125	0.0700	0.0500	0.0300	3	0
0.3750	0.2400	0.0150	0.0900	0.0600	0.0375	6	3
0.4500	0.2900	0.1800	0.1100	0.0750	0.0450	10	6
0.5500	0.3500	0.2150	0.1350	0.0900	0.0550	18	10
0.6500	0.4200	0.2600	0.1650	0.1050	0.0650	30	18
0.8000	0.5000	0.3100	0.1950	0.1250	0.0800	50	30
0.9500	0.0600	0.3700	0.2300	0.1500	0.0950	80	50
1.1000	0.7000	0.4350	0.2700	0.1750	0.1100	120	80
1.2500	0.8000	0.5000	0.3150	0.2000	0.1250	180	120
1.4500	0.9250	0.5750	0.3600	0.2300	0.1450	250	180
1.6000	1.0500	0.6500	0.4050	0.2600	0.1600	315	250
1.8000	1.1500	0.7000	0.4450	0.2850	0.1800	400	315
2.0000	1.2500	0.7750	0.4850	0.3150	0.2000	500	400

אפיצויות (Rated Tolerance)

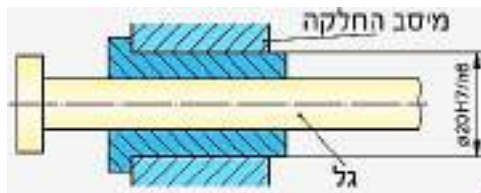
חיבור שני רכיבים מחייב התאמתם במקום החיבור. נכנה את החלק הפנימי "קדח" ואת החלק החיצוני "גל".
האפיצויות נקבעת בהתאמה לתפקוד הפרט במכלול.

אפיצות מרווח (חופש)



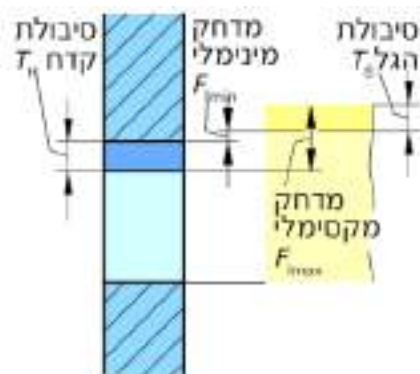
מבטיחה שבכל המקרים יהיה חופש בין הגל ובין הקדח. אין מגע בין הגל לקדח.
הקדח או הגל יכולים לנוע בחופשיות בתנועה סיבובית או קווית. באפיצות מרווח המידה המינימלית של הקדח תהיה תמיד גדולה יותר מהמידה המקסימלית של הגל.

אפיצות מעבר (זחיחה, מגע)



מיועדת למקרים בהם צריך שיהיה מגע בין הגל לקדח, יחד עם מרווח קטן של חופש. זאת כדי שכל אחד מהחלקים יוכל לנוע בתנועה קווית וסיבובית בחופשיות, כאשר יש ביניהם מגע.

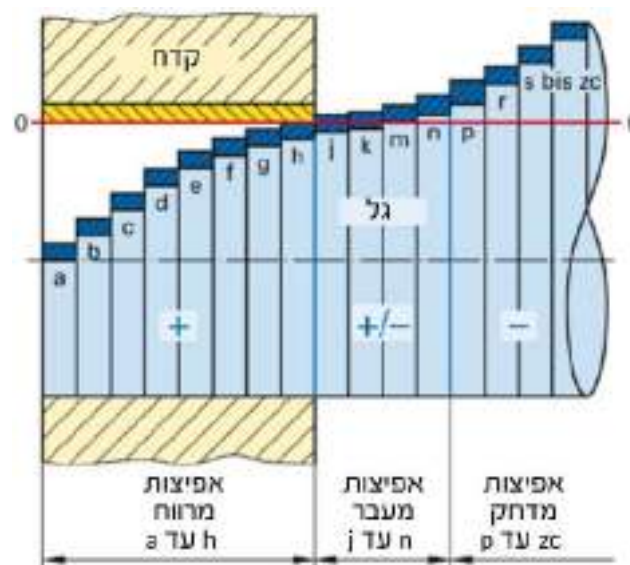
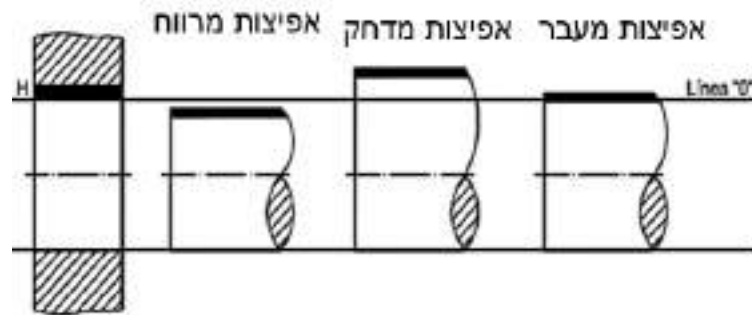
אפיצות מדחק (לחץ)



מיועדת למקרים שבהם החלקים המורכבים מחוברים באופן כזה שהתנועה תהיה של שניהם ביחד. באפיצויות מדחק המידה המקסימלית של הקדח תהיה תמיד קטנה יותר, או במקרה גבולי, באותו גודל כמו המידה המינימלית של הגל. נדרשת הפעלת כוח כדי להכניס את הגל לקדח (חימום הקדח, קירור הגל ועוד).

שיטת קדח אחיד (DIN 7154)

בשיטה זו, ישנם מספר **קדחים** בעלי גדלים (קטרים) קבועים המסומנים באות האנגלית H, בהם המידה המזערית שווה תמיד למידה הנקובה והסטייה העליונה שלהם תמיד בכיוון **חיובי** (+), אליהם אנו רוצים להתאים **גל** המסומן באותיות אנגליות קטנות (a, b, ..., zc) זאת, באמצעות ביצוע עיבוד חיצוני של **הגל** למידה הרצויה.



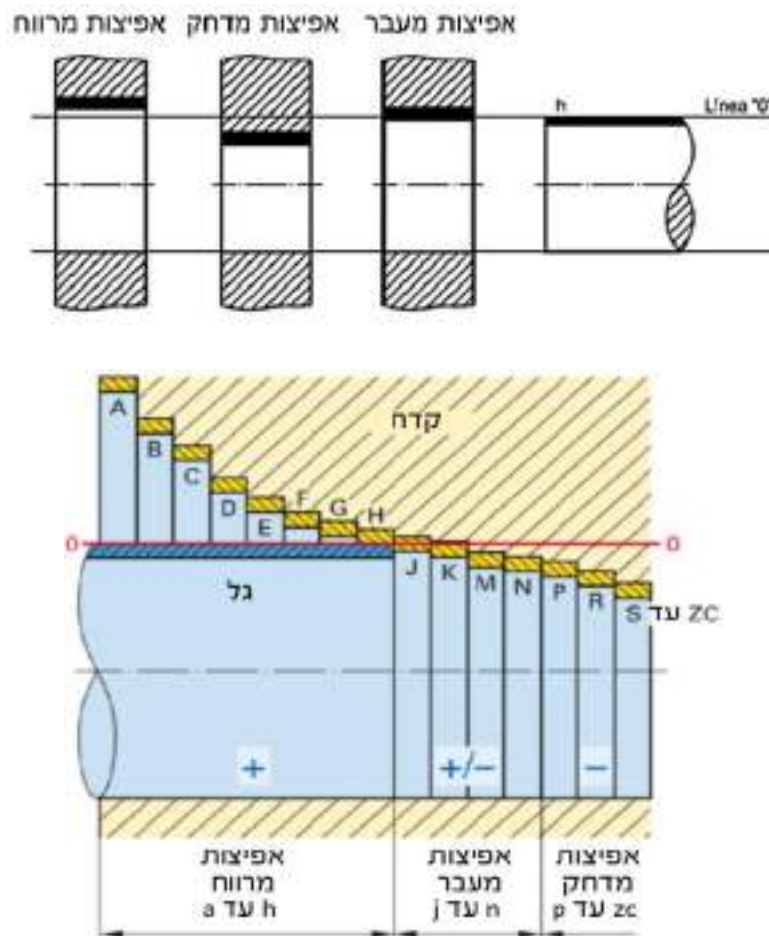
סימון בסרטוט הרכבה:

$$\frac{H7}{n6} = \frac{\text{סבולת הקדח}}{\text{סבולת הגל}}$$

רשימת מיון	התאמה בעיבוד עדין										התאמה בעיבוד עדין										התאמה בעיבוד גס									
	מאוז										גלים										גלים									
	קוח	גלים					קוח	גלים					קוח	גלים					קוח	גלים										
	H6	p5	n5	k6	j6	h5	H7	s6	r6	n6	m6	k6	j6	h6	g6	f7	H8	x8	u8	h9	e8	d9	H11	h9	h11	d9	c11	a11		
1...3	+6	+10	+8	+6	+4	0	+10	-20	+16	+10	+9	+6	+4	0	-2	-6	+14	+34	-	0	-14	-20	+60	0	0	-20	-60	-270		
3...6	0	+8	+4	0	-2	-4	0	+14	+10	+4	+2	-11	-2	-8	-8	-16	0	+30	-	-25	-28	-45	0	-25	-60	-45	-120	-330		
6...9	0	+17	+13	+9	+5	0	+12	-27	+23	+10	+12	+8	0	-4	-10	-10	+18	+46	-	0	-20	-30	+75	0	0	-30	-70	-270		
9...10	0	+12	+8	+1	-2	-5	0	-19	+15	+8	+4	+1	-2	-8	-12	-22	0	+28	-	-30	-38	-60	0	-30	-75	-60	-145	-345		
10...14	+9	+21	+18	+10	+7	0	+15	-32	+28	+10	+15	+10	+7	0	-5	-13	+22	+56	-	0	-25	-40	+90	0	0	-40	-80	-280		
14...16	0	+15	+10	+1	-2	-6	0	+23	+10	+10	+6	+1	-2	-9	-14	-26	0	+34	-	-36	-47	-76	0	-36	-60	-76	-170	-370		
16...24	+11	+26	+20	+12	+8	0	+18	-39	+34	+23	+18	+12	+8	0	-8	-16	+27	+40	-	0	-32	-50	+110	0	0	-50	-95	-200		
24...30	0	+18	+12	+1	-3	-8	0	+28	+23	+12	+7	+1	-3	-11	-17	-34	0	+72	-	-43	-59	-93	0	-43	-110	-93	-205	-400		
30...40	+13	+31	+24	+15	+9	0	+21	-48	+41	+28	+21	+13	+9	0	-7	-20	+33	+87	-	0	-40	-65	+130	0	0	-65	-110	-300		
40...50	0	+22	+15	+2	-4	-9	0	-35	+28	+15	+8	+2	-4	-13	-20	-41	0	+64	+85	-	-52	-73	-117	0	-52	-130	-240	-430		
50...55	+16	+37	+28	+18	+11	0	+25	-59	+50	+33	+25	+18	+11	0	-9	-25	+39	+119	+99	-	0	-50	+160	0	0	-80	-260	-470		
55...60	0	+20	+17	+2	-5	-11	0	-43	+34	+17	+9	+2	-5	-18	-25	-50	0	+136	+109	-62	-80	-142	0	-62	-90	-142	-330	-560		
60...100	0	0	0	0	0	0	0	-72	+60	0	0	0	0	0	0	0	+168	+133	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
100...120	+19	+45	+33	+21	+12	0	+30	-53	+41	+39	+30	+21	+12	0	-10	-30	+46	+122	+87	0	-80	-100	+160	0	0	-100	-330	-530		
120...140	0	+32	+20	+2	-7	-13	0	-76	+62	+20	+11	+2	-7	-18	-29	-60	0	+192	+140	-74	-106	-174	0	-74	-180	-174	-360	-560		
140...160	0	0	0	0	0	0	0	-59	+43	0	0	0	0	0	0	0	+146	+102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
160...180	+22	+52	+38	+25	+13	0	+35	-71	+51	+45	+35	+25	+13	0	-12	-36	+54	+252	+175	-	-72	-120	+220	0	0	-120	-360	-600		
180...200	0	+37	+23	+3	-9	-15	0	-101	+70	+25	+13	+3	-8	-22	-34	-71	0	+264	+195	-87	-126	-207	0	-87	-220	-207	-410	-630		
200...220	0	0	0	0	0	0	0	-79	+54	0	0	0	0	0	0	0	+210	+144	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
220...250	+25	+61	+45	+28	+14	0	+40	-82	+63	+52	+40	+28	+14	0	-14	-43	+63	+248	+170	0	-85	-145	+260	0	0	-145	-450	-710		
250...300	0	+43	+27	+3	-11	-18	0	-100	+85	+27	+15	+3	-11	-25	-39	-83	0	+280	+180	-100	-148	-245	0	-100	-250	-345	-680			
300...350	0	0	0	0	0	0	0	-151	+108	0	0	0	0	0	0	0	+427	+308	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
350...400	+29	+70	+51	+33	+16	0	+48	-122	+77	+60	+48	+33	+16	0	-15	-50	+72	+350	+236	0	-100	-170	+260	0	0	-170	-530	-900		
400...450	0	+58	+34	+4	-16	-23	0	-159	+109	0	0	0	0	0	0	0	+457	+330	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
450...500	0	+50	+31	+4	-13	-20	0	-169	+113	+31	+17	+4	-13	-25	-44	-96	0	+385	+258	-115	-172	-265	0	-115	-250	-385	-830	-1100		
500...550	+32	+75	+57	+36	+16	0	+52	-150	+126	0	0	0	0	0	0	0	+455	+304	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
550...600	0	+58	+34	+4	-16	-23	0	-159	+109	0	0	0	0	0	0	0	+457	+330	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
600...650	+36	+87	+62	+40	+18	0	+67	-100	+100	+75	+57	+40	+18	0	-18	-62	+88	+500	+360	0	-125	-210	+300	0	0	-210	-720	-1500		
650...700	0	+62	+37	+4	-18	-25	0	-244	+150	+37	+21	+4	-18	-36	-64	-119	0	-	+524	-140	-214	-350	0	-140	-360	-350	-1050	-1850		
700...750	+40	+86	+67	+45	+20	0	+63	-232	+172	+40	+23	+5	-20	-40	-60	-131	0	-	+435	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
750...800	0	+67	+40	+5	-20	-27	0	-252	+132	0	0	0	0	0	0	0	+400	+260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
800...850	0	+67	+40	+5	-20	-27	0	-252	+132	0	0	0	0	0	0	0	+400	+260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

שיטת הגל האחיד (DIN 7155)

בשיטה זו, ישנם מספר **קדחים** בעלי **גלים** בעלי גדלים (קטרים) קבועים המסומנים באות אנגלית h , בהם המידה המזערית שווה תמיד למידה הנקובה והסטייה התחתונה שלהם היא תמיד בכיוון **שלילי** (-), אליהם אנו רוצים להתאים **קדח** המסומן באותיות אנגליות גדולות (A, B, ...) זאת, באמצעות ביצוע עיבוד פנימי של **הקדח** למידה הרצויה.



סימון בסרטוט הרכבה:

$$\frac{K7}{h6} = \frac{\text{סבולת הקדח}}{\text{סבולת הגל}}$$

התאמה בעיבוד עדין										התאמה בעיבוד בינוני										התאמה בעיבוד גס									
מאוד										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים										קדחים									
גל										קדחים																			

חישובי מידות

כל חלק מיוצר לפי מידות הסרטוט, ובגמר העיבוד על החלק לעמוד במידות הרשומות בסרטוט.

מידה מתקבלת (נועלת, סוגרת)

מידה שאינה רשומה בסרטוט, וחשיבותה פחותה בהרבה מהמידות הרשומות בסרטוט. מחשבים מידה מתקבלת לצורך אינפורמטיבי בלבד והיא אינה מידה לצרכי ייצור.

(1) כתבו משוואת שרשרת מידות **השווה לאפס** (מבסיס ייחוס נבחר חזרה לאותו בסיס ייחוס).

(2) סדרו את המשוואה מסעיף 1, בצורה שבה המידה המתקבלת, תימצא באגף שמאל וכל שאר המידות ימצאו באגף בימין.

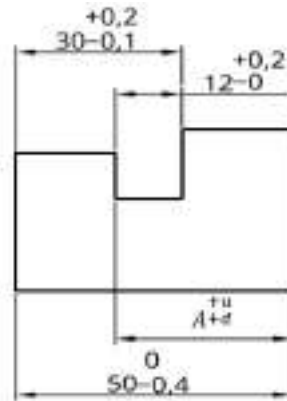
(3) חשבו מידה **נומינלית**.

(4) חשבו מידה **מרבית** (מידה **חיובית** מקבלת ערך $\max$, מידה **שלילית** מקבלת ערך $\min$).

(5) חשבו מידה **מזערית** (מידה **חיובית** מקבלת ערך $\min$, מידה **שלילית** מקבלת ערך $\max$).

(6) כתבו מידה בכתיבה מקוצרת.

(7) לבדיקה הציבו את תחום הסבולת.



$$-50_{-0.4}^0 + 30_{-0.1}^{+0.2} - 12_0^{+0.2} + A_{+d}^{+u} = 0$$

$$A_{+d}^{+u} = 50_{-0.4}^0 - 30_{-0.1}^{+0.2} + 12_0^{+0.2}$$

$$A = 50 - 30 + 12 = 32$$

$$A_{max} = 50_{max} - 30_{min} + 12_{max} = 50.0 - 29.9 + 12.2 = 32.3$$

$$A_{min} = 50_{min} - 30_{max} + 12_{min} = 49.6 - 30.2 + 12.0 = 31.4$$

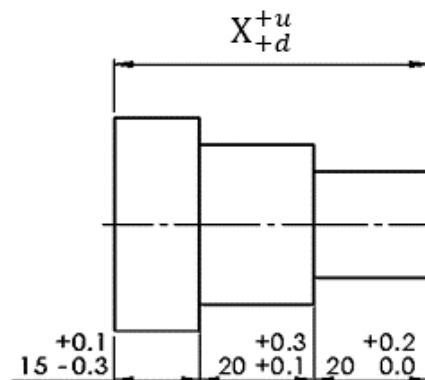
$$A_d^u = 32_{-0.6}^{+0.3}$$

בדיקה:

$$\Delta A = \Delta 50 + \Delta 30 + \Delta 12$$

$$0.9 = 0.4 + 0.3 + 0.2$$

חיבור מידות בעלות סיבולת



$$-20_{-0.3}^{+0.2} - 20_{+0.1}^{+0.3} - 15_{-0.3}^{+0.1} + X_{+d}^{+u} = 0$$

$$X_{+d}^{+u} = +20_{-0.3}^{+0.2} + 20_{+0.1}^{+0.3} + 15_{-0.3}^{+0.1}$$

$$X = 20 + 20 + 15 = 55$$

$$X_{max} = 20_{max} + 20_{max} + 15_{max} = 20.2 + 20.3 + 15.1 = 55.6$$

$$X_{min} = 20_{min} + 20_{min} + 15_{min} = 20.0 + 20.1 + 14.7 = 54.8$$

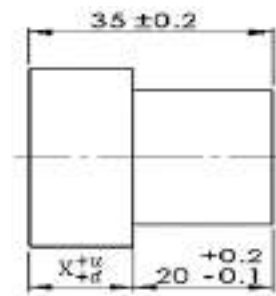
$$X_d^u = 55_{-0.2}^{+0.6}$$

בדיקה:

$$\Delta X = \Delta 20 + \Delta 20 + \Delta 15$$

$$0.8 = 0.2 + 0.2 + 0.4$$

חיסור מידות בעלות סיבולת



$$-35_{-0.2}^{+0.2} + X_{+d}^{+u} + 20_{-0.1}^{+0.2} = 0$$

$$X_{+d}^{+u} = +35_{-0.2}^{+0.2} - 20_{-0.1}^{+0.2}$$

$$X = 35 - 20 = 15$$

$$X_{max} = 35_{max} - 20_{min} = 35.2 - 19.9 = 15.3$$

$$X_{min} = 35_{min} - 20_{max} = 34.8 - 20.2 = 14.6$$

$$X_d^u = 15_{-0.4}^{+0.3}$$

בדיקה:

$$\Delta X = \Delta 35 + \Delta 20$$

$$0.7 = 0.4 + 0.3$$

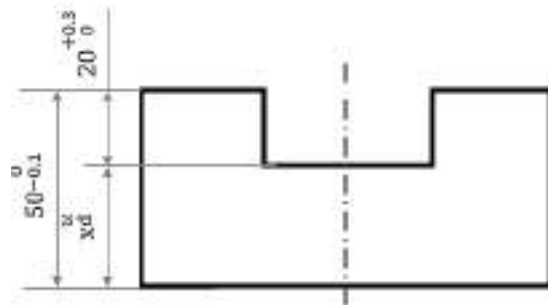
מידת ייצור (טכנולוגית, חליפית)

בתיכון של תהליכים טכנולוגיים נדרש לחשב ולפתור שרשרת מידות ייצור, המבטאות את הקשר בין פעולות העיבוד השונות לבין מידות המוצר כפי שהן מופיעות בסרטוט. בתהליך העיבוד שואפים לבצע **עיבוד ישיר** של מידות הנתונות בסרטוט, אך לפעמים הדבר אינו כדאי או אינו אפשרי מבחינת תהליך העיבוד.

כללים:

- * **מידה טכנולוגית תחליף את המידה בעלת הסבולת הגדולה ביותר.**
- * הסבולת של המידה הטכנולוגית חייבת להיות **קטנה** מסבולת המידה המוחלפת.
- * בגמר העיבוד החלק המיוצר **חייב** לעמוד בכל המידות הרשומות בסרטוט.

- (1) כתבו משוואת שרשרת מידות **השווה לאפס** (מבסיס ייחוס נבחר חזרה לאותו בסיס ייחוס).
- (2) סדרו את המשוואה מסעיף 1, בצורה שבה המידה בעלת הסבולת **הגדולה ביותר** תימצא באגף שמאל וכל השאר ימצאו באגף בימין.
- (3) חשבו מידה **נומינלית**.
- (4) חשבו מידה **מרבית** (מידה **חיובית** מקבלת ערך $\max$, מידה **שלילית** מקבלת ערך $\min$).
- (5) חשבו מידה **מזערית** (מידה **חיובית** מקבלת ערך $\min$, מידה **שלילית** מקבלת ערך $\max$).
- (6) כתבו מידה בכתיבה מקוצרת.
- (7) לבדיקה הציבו את תחום הסבולת.



$$50_{-0.1}^0 - 20_{+0.3}^0 - x_{-0.1}^0 = 0$$

$$20_{+0.3}^0 = 50_{-0.1}^0 - x_{-0.1}^0$$

$$20 = 50 - x$$

$$x = 30$$

$$20_{max} = 50_{max} - x_{min}$$

$$20.3 = 50.0 - x_{min}$$

$$x_{min} = 29.7$$

$$20_{min} = 50_{min} - x_{max}$$

$$20 = 49.9 - x_{max}$$

$$x_{max} = 29.9$$

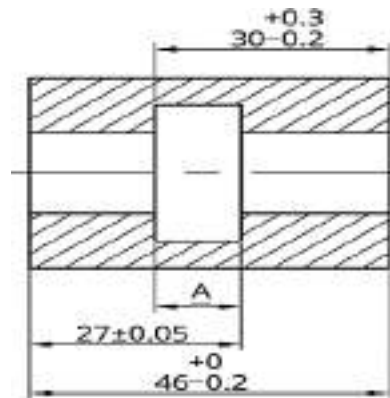
$$x_{-0.3}^0 = 30_{-0.3}^0$$

בדיקה:

$$\Delta 20 = \Delta 50 + \Delta x$$

$$0.3 = 0.1 + 0.2$$

* הסבולת של המידה הטכנולוגית חייבת להיות קטנה מסבולת המידה המוחלפת.



$$-46_{-0.2}^0 + 27_{-0.05}^{+0.05} - A_d^u + 30_{-0.2}^{+0.3} = 0$$

$$30_{-0.2}^{+0.3} = 46_{-0.2}^0 - 27_{-0.05}^{+0.05} + A_d^u$$

$$30 = 46 - 27 + A$$

$$A = 11$$

$$30_{max} = 46_{max} - 27_{min} + A_{max}$$

$$30.3 = 46.0 - 26.95 + A_{max}$$

$$A_{max} = 11.25$$

$$30_{min} = 46_{min} - 27_{max} + A_{min}$$

$$29.8 = 45.8 - 27.05 + A_{min}$$

$$A_{min} = 11.05$$

$$x_d^u = 11_{-0.05}^{+0.25}$$

בדיקה:

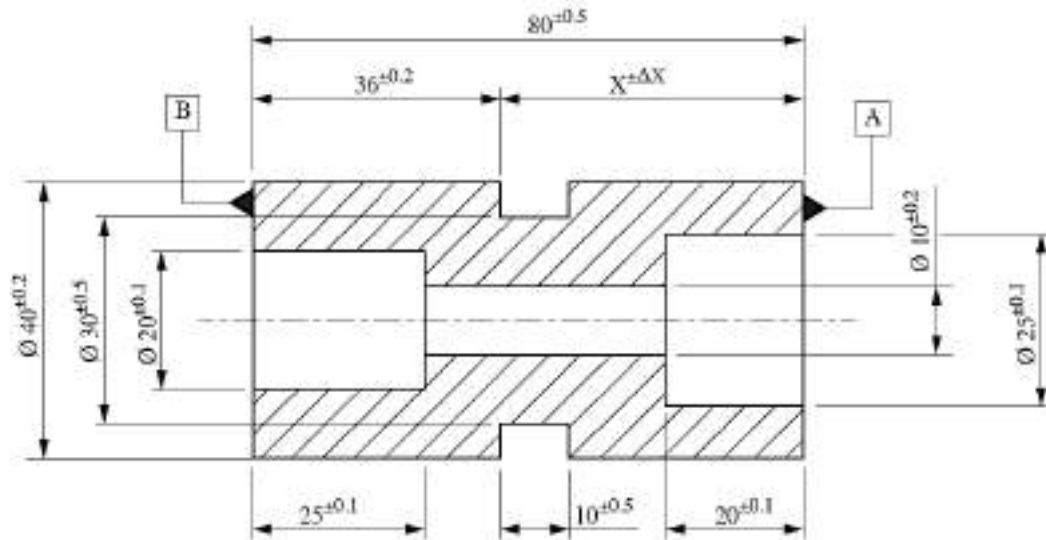
$$\Delta 30 = \Delta 46 + \Delta 27 + \Delta A$$

$$0.5 = 0.2 + 0.1 + 0.3$$

* הסבולת של המידה הטכנולוגית חייבת להיות קטנה מסבולת המידה המוחלפת.

דוגמה 24

באיור לשאלה נתון סרטוט של חלק המיוצר בעיבוד שבבי. החלק עשוי פלדה SAE 1020.



דרוש:

- א. חשבו את המידה המתקבלת $X^{\pm \Delta x}$ המתייחסת לשטח המוצא A.
- ב. חשבו את המידה הטכנולוגית $X^{\pm \Delta x}$ המתייחסת לשטח המוצא B.

פתרון דוגמה 24

א. חשבו את המידה המתקבלת $X^{\pm\Delta x}$ המתייחסת לשטח המוצא A.

$$-80^{+0.5}_{-0.5} + 36^{+0.2}_{-0.2} + X^{+u}_{+d} = 0$$

$$X^{+u}_{+d} = 80^{+0.5}_{-0.5} - 36^{+0.2}_{-0.2}$$

$$X = 80 - 36 = 44$$

$$X_{max} = 80_{max} - 36_{min} = 80.5 - 35.8 = 44.7$$

$$X_{min} = 80_{min} - 36_{max} = 79.5 - 36.2 = 43.3$$

$$X^u_d = 44^{+0.7}_{-0.7}$$

בדיקה:

$$\Delta X = \Delta 80 + \Delta 36$$

$$1.4 = 1 + 0.4$$

דוגמה 21 – המשך פתרון מעמוד קודם

ב. חשבו את המידה הטכנולוגית $X^{\pm\Delta x}$ המתייחסת לשטח המוצא B.

$$80^{+0.5} - x_d^u - 36^{+0.2} = 0$$

$$80^{+0.5} = x_d^u + 36^{+0.2}$$

$$80 = x + 36$$

$$x = 44$$

$$80_{max} = x_{max} + 36_{max}$$

$$80.5 = x_{max} + 36.2$$

$$x_{max} = 44.3$$

$$80_{min} = x_{min} + 36_{min}$$

$$79.5 = x_{min} + 35.8$$

$$x_{min} = 43.7$$

$$x_d^u = 44^{+0.3}$$

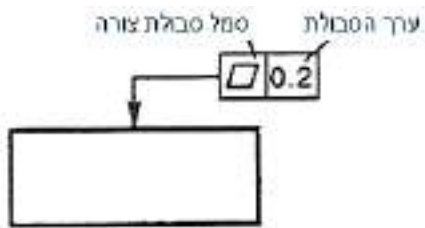
בדיקה:

$$\Delta 80 = \Delta x + \Delta 36$$

$$1 = 0.6 + 0.4$$

* הסבולת של המידה הטכנולוגית חייבת להיות קטנה מסבולת המידה המוחלפת.

סבולות צורה (Geometric Tolerance) – ת"י 1010



בשם סבולת צורה מכנים את **הסטייה המותרת** מהצורה הגיאומטרית התאורטית של החלק.

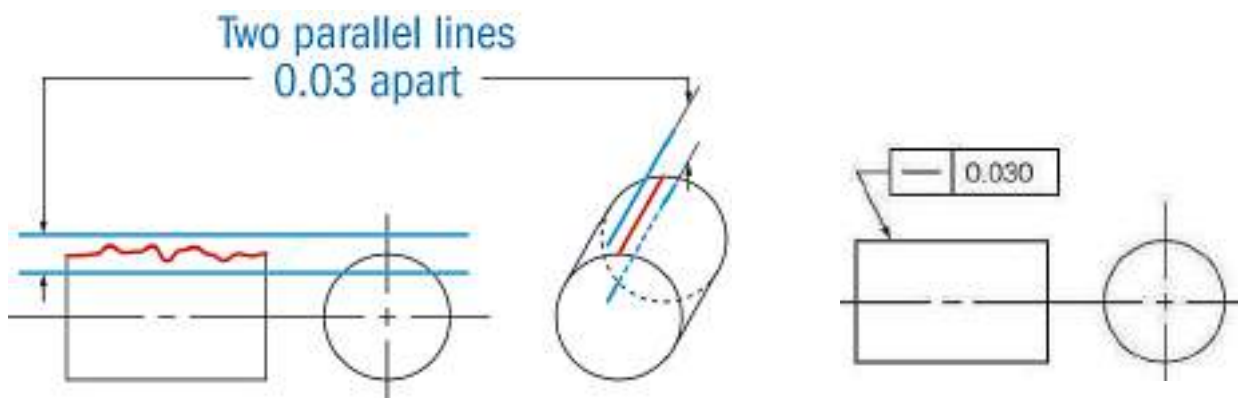
ההתייחסות היא לצורת הגיאומטרית של המשטח **ללא ייחוס למשטח אחר**.

ישרות (Straightness)

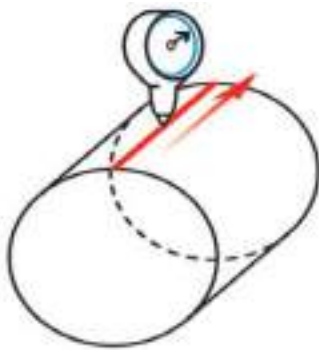
משמעות

סימון

באיזו מידה קו הגוף המעשי אכן קרוב לקו ישר אידיאלי. סבולת זו נותנת את המרחק בין שני ישרים מקבילים, שביניהם **חייב** להימצא הקו הישר הנדון.



בדיקה:



(1) סרגל + עלי גישוש (Feeler gauge)

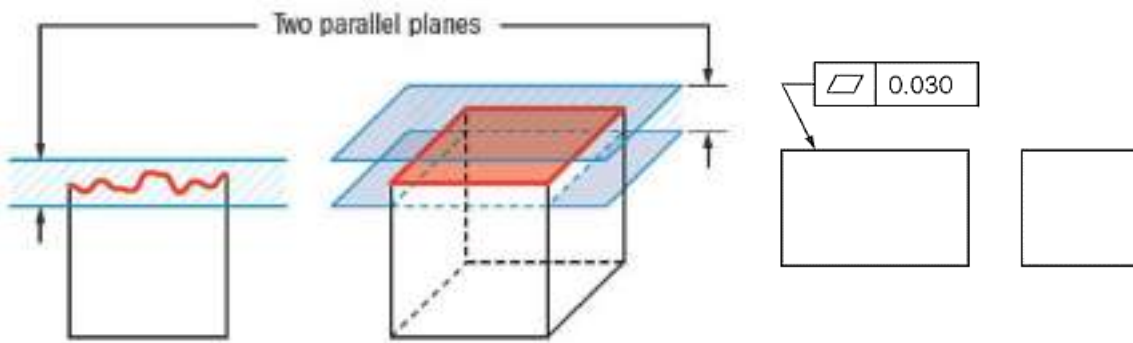
(2) הנחה על פלטת מדידה הנעת חוגן לאורך קו ישר ובדיקת הסטייה

מישוריות (Flatness)

משמעות

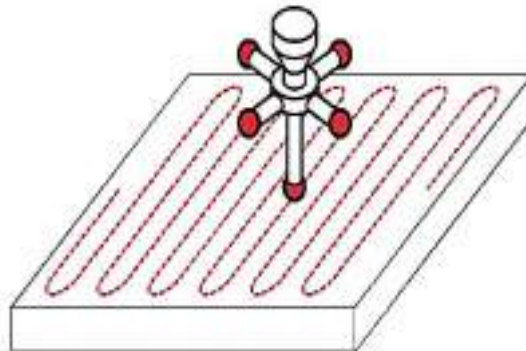
באיזו מידה המשטח המעשי, אכן קרוב למישור האידיאלי. סבולת זו נותנת את המרחק בין שני מישורים מקבילים שביניהם חייב להימצא המשטח הנדון.

סימון



בדיקה:

הנחת המשטח הנמדד על שלוש נקודות בגובה זהה על פלטת מדידה ובדיקת גובה נקודות רבות.



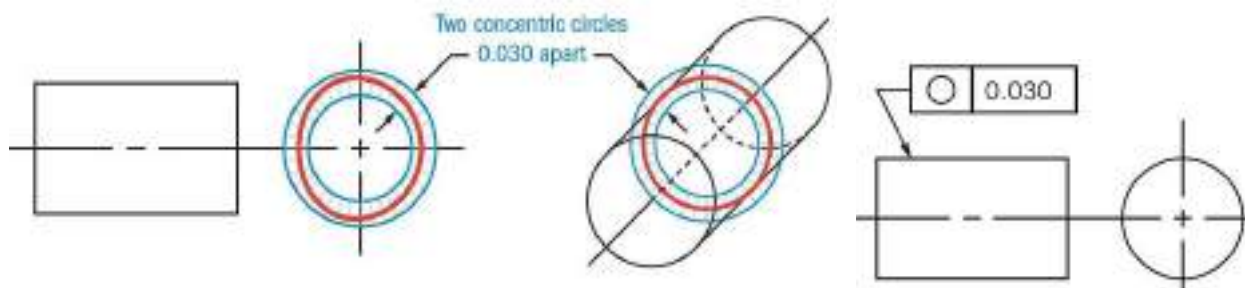
עיגוליות (Roundness)

סימון



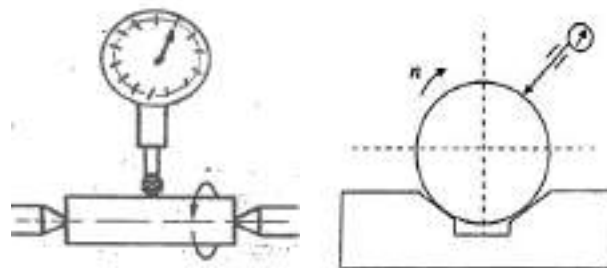
משמעות

מתארת באיזו מידה כל חתך של גוף הסיבוב הניצב לציר הסיבוב הוא חתך עגול. המרחק הרדיאלי בין שני מעגלים אידיאליים בעלי מרכז משותף, שביניהם צריך להימצא החתך המעשי של גוף הסיבוב.



בדיקה:

סיבוב חלק סביב צירו ובדיקת מספר מעגלים מקבילים זה לזה.



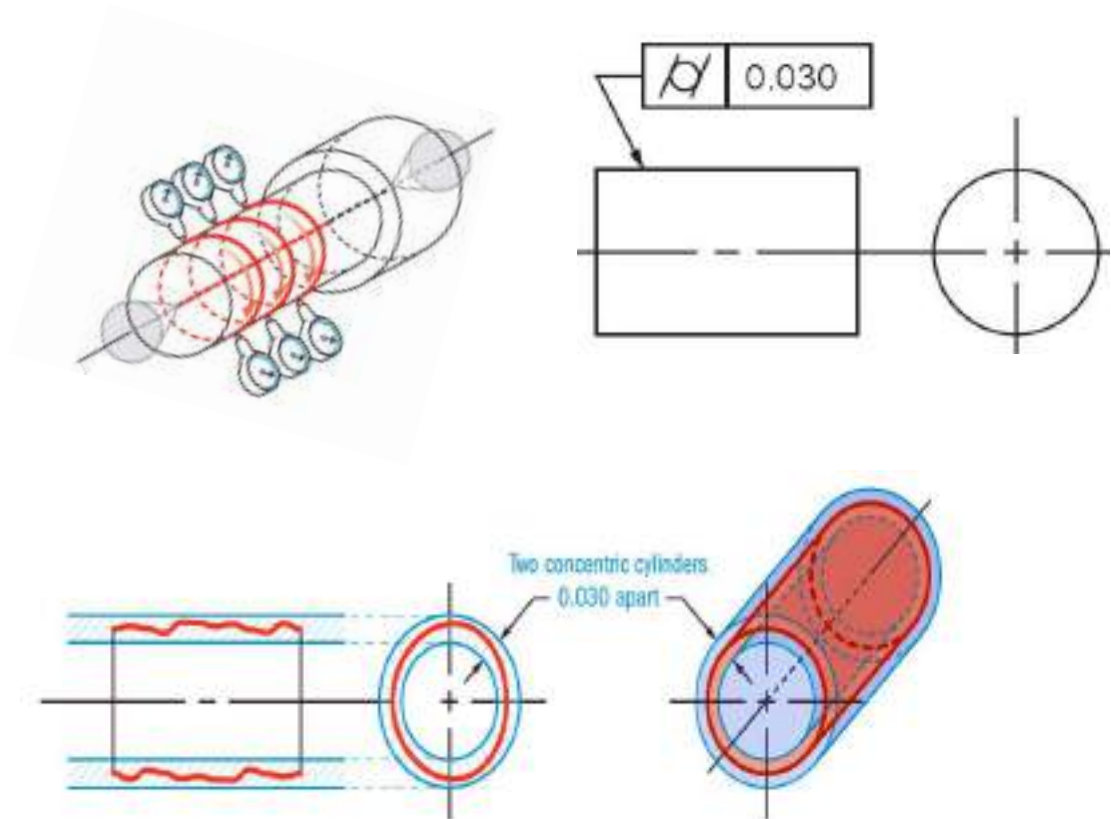
גליליות (Cylindricity)

סימון



משמעות

מתארת באיזו מידה אכן קרוב משטח מעשי לצורת גליל. סבולת זו היא המרחק הרדיאלי בין שני גלילים אידיאליים בעלי ציר סיבוב משותף, שביניהם נדרש להימצא המשטח הנתון.



בדיקה:

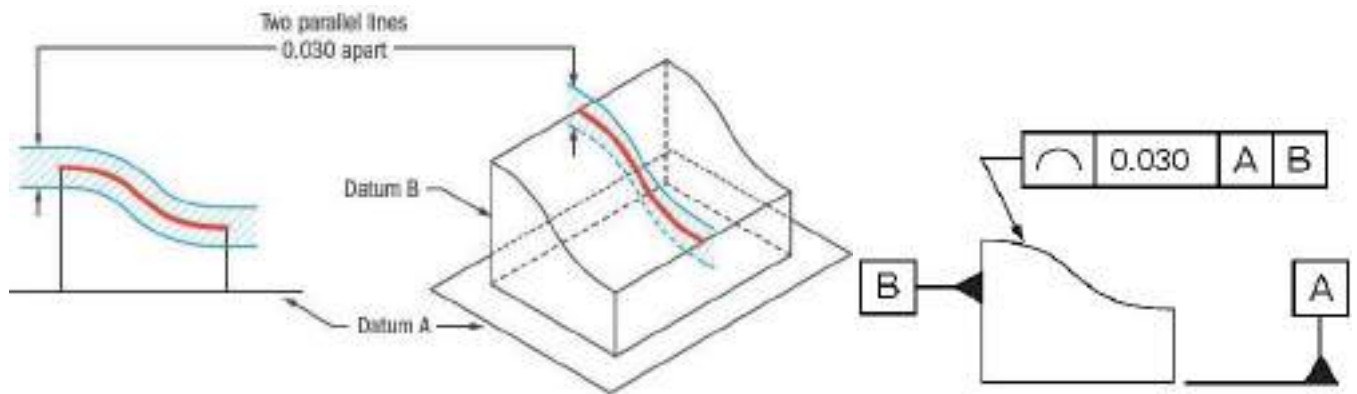
בדיקת עיגוליות באמצעות החוגן לאורך כל החלק או בדיקה בעזרת מד נגדי שמידתו מתאימה למידת החלק לגליל.

קוויות (פרופיל של קו – Profile of line)

משמעות

מתארת באיזו מידה אכן קרוב הקו העקום המעשי לקו אידיאלי. הקו העקום המעשי יימצא בין שתי עקומות אידיאליות, שהמרחק ביניהם שווה לגודל הסבולת.

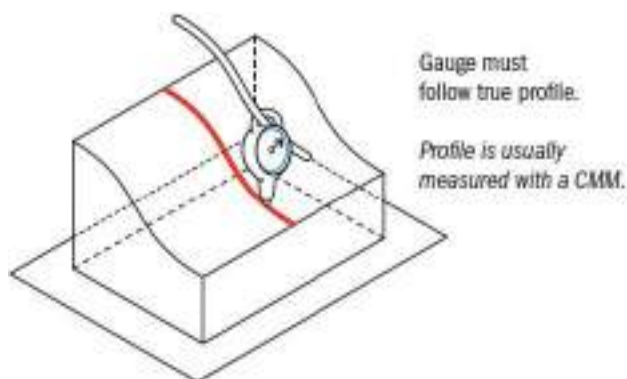
סימון



בדיקה:

(1) שבלונה בעלת צורת הפרופיל + עלי גישוש

(2) מכונת מדידה CMM

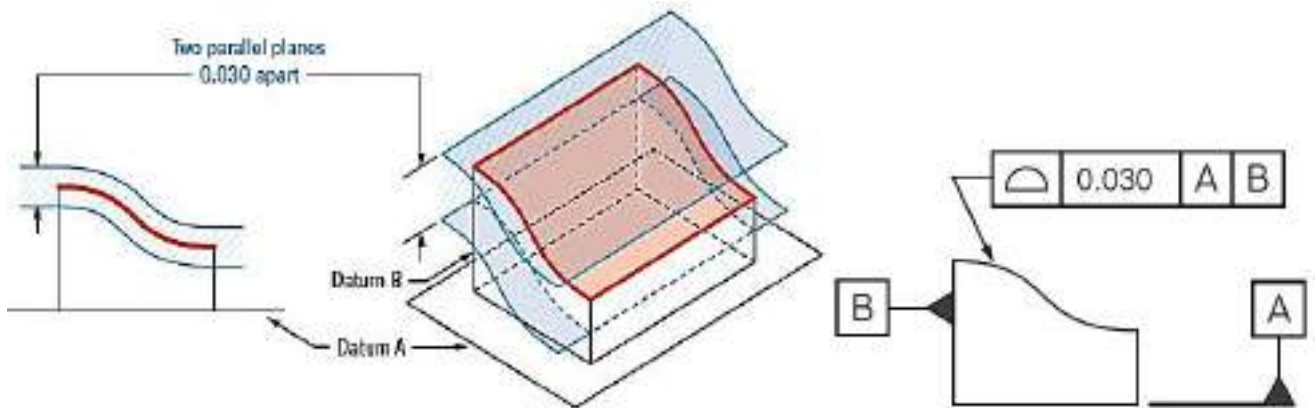


צורת המשטחים (פרופיל שטח - Profile of surface)

משמעות

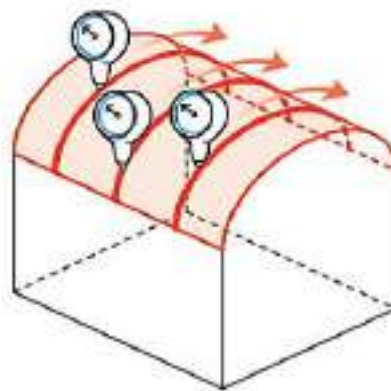
סימון

מתארת באיזו מידה אכן קרוב המשטח העקום המעשי למשטח אידיאלי. המשטח העקום המעשי יימצא בין שני משטחים אידיאליים, שהמרחק ביניהם שווה לגודל הסבולת.

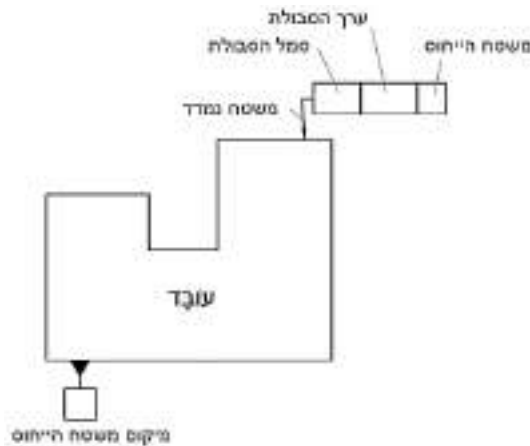


בדיקה:

- 1) שבלונה בעלת צורת הפרופיל + עלי גישוש
- 2) מכונת מדידה CMM



סבולות תנוחה (צורה ומצב הדדי) – ת"י 1010



סבולת תנוחה מראה את הסטייה המקסימלית המותרת בין המשטח המסומן ובין משטח הייחוס. סבולת תנוחה נתונה על-ידי דגל.

הערה: לכל סבולת תנוחה יש להגדיר משטח ייחוס

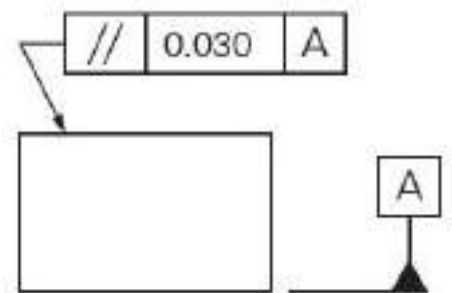
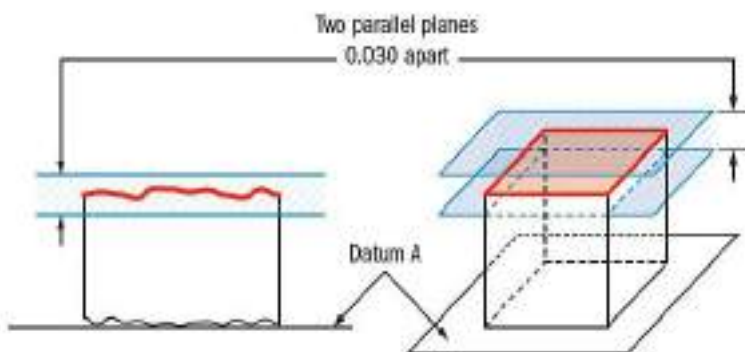
(Datum) זהו מישור הייחוס עליו תתבצע הדפיה. 

מקבילות (Parallelism)

משמעות

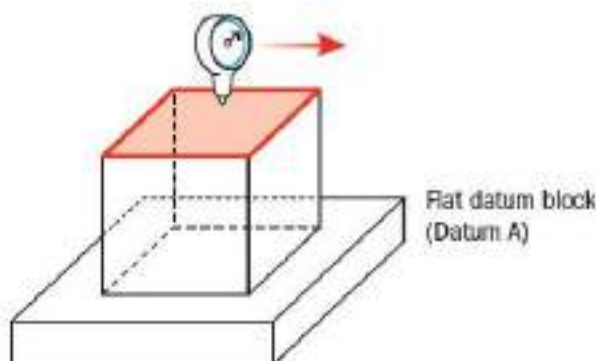
סימון

באיזו מידה שני ישרים (או מישורים) אכן מקבילים. הסבולת היא המרחק בין שני ישרים (או מישורים) המקבילים לישר (או למישור) הייחוס, והישר המעשי (המישור המעשי) יימצא ביניהם. //



בדיקה:

הנחת משטח הייחוס A על שלוש נקודות שוות גובה על גבי פלטת מדידה, עוברים עם חוגן על כל השטח הנמדד ובודקים את הסטייה.

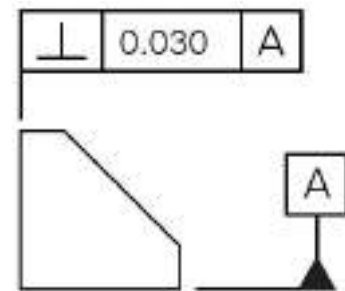
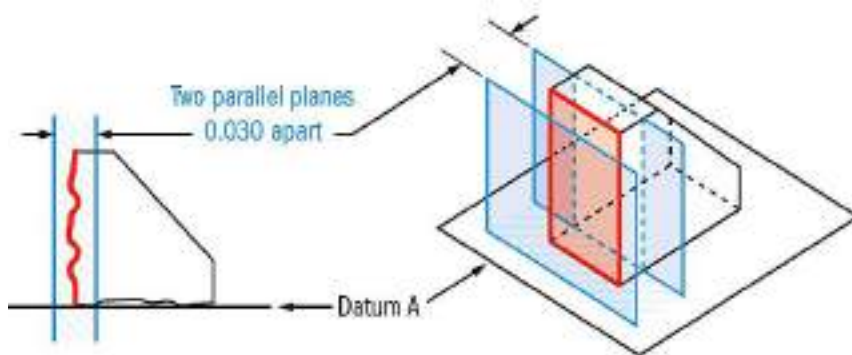


ניצבות (Perpendicularity)

משמעות

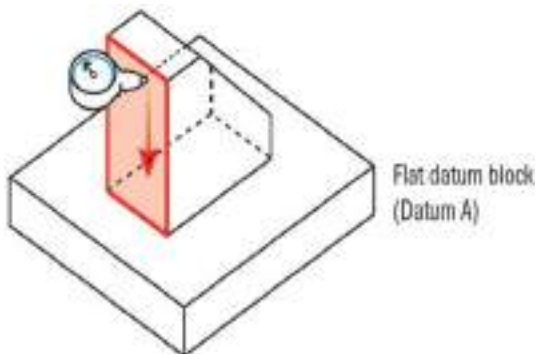
המישור הנבדק בעל הסבולת, חייב להימצא בין שני ישרים (או מישורים) ניצבים למישור הייחוס, שמרחקם כגודל הסבולת.

סימון



בדיקה:

זוויתן מדידה + עלי גישוש או על-ידי חוגן המורכב על מד גובה, הנע לכל אורך המשטח הנמדד.



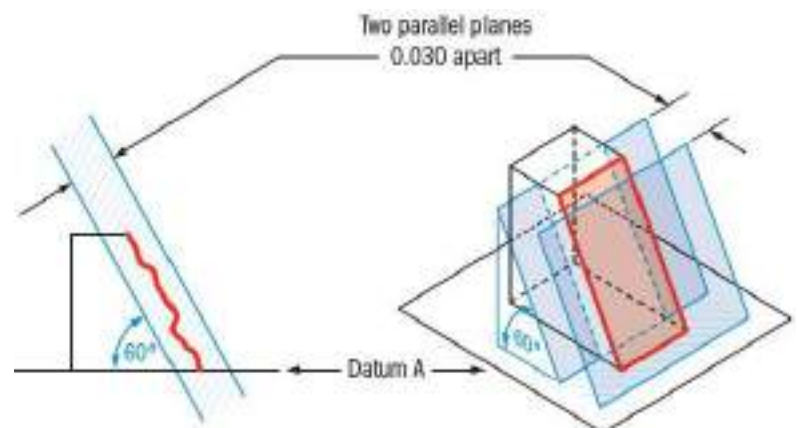
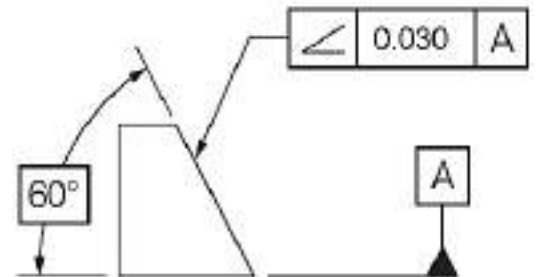
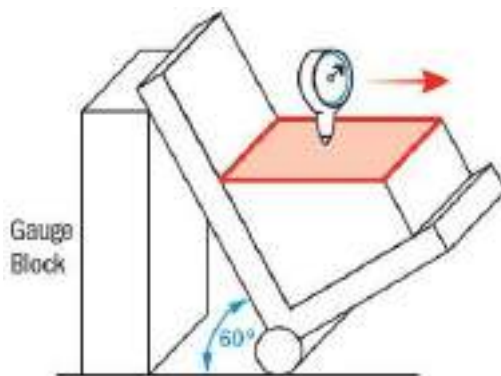
זוויתיות (Angularity)

סימון



משמעות

מידת הקרבה של זווית נתונה לזווית שיוצר ישר מעשי (או מישור מעשי) עם ישר (או מישור) ייחוס. הסבולת מתארת את המרחק בין ישרים (או מישורים) מקבילים הנטויים בזווית הדרושה, וטריגונום ימצא הישר המנועי (או המישור המנועי).



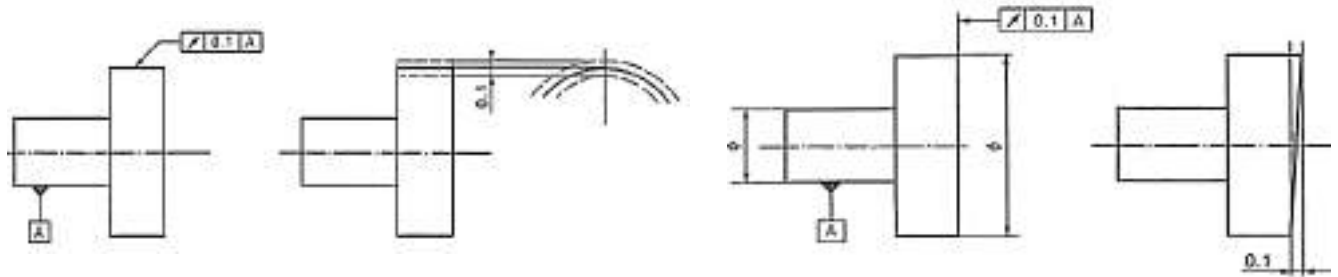
בדיקה: זוויתן מדידה + עלי גישוש או על-ידי חוגן המורכב על מד גובה, הנע לכל אורך המשטח הנמדד.

חריגות (Run out)

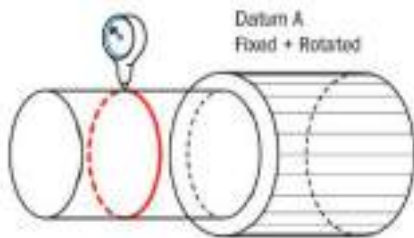
משמעות

מידת הסטייה המותרת של נקודה על-פני המשטח המעשי בכיוון החץ המצביע עליה, בזמן סיבוב הפריט סביב ציר ייחוס מוגדר.

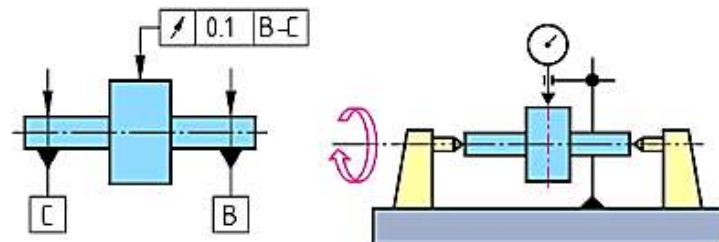
סימון



חריגות רדיאלית בין שני משטחים בעלי ציר סיבוב משותף שביניהם ימצא המשטח המעשי. חריגות צירית בין שני משטחים מקבילים הניצבים לציר הסיבוב ביניהם ימצא המשטח המעשי.



בדיקה: מניחים את משטח הייחוס הנבדק בתוך פריזמה ובודקים את המשטח באמצעות חוגן. מסובבים את החלק בתוך הפריזמה וקוראים את הסטייה המקסימלית והמינימלית בסיבוב שלם.



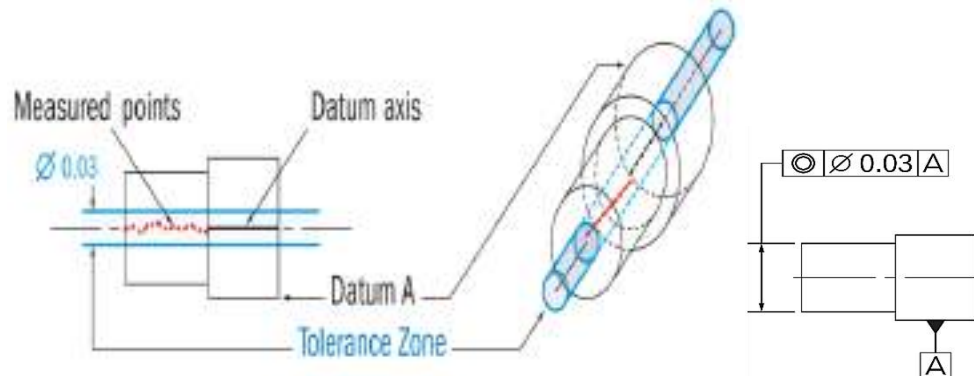
מרכזיות (Concentricity)

סימון

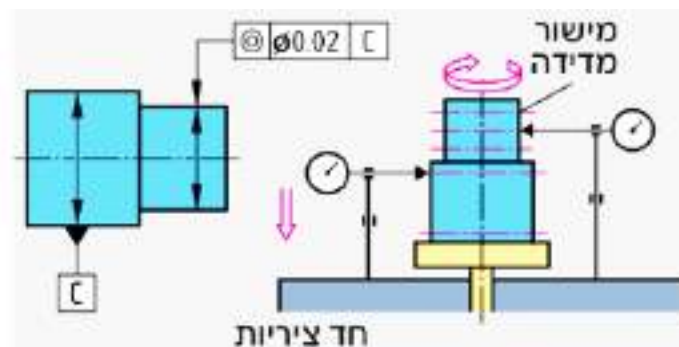
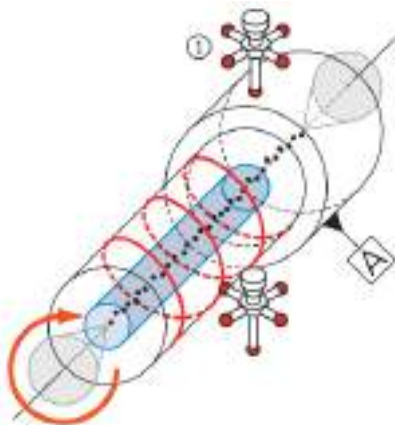


משמעות

מתארת עד כמה שני עיגולים אינם חד-ציריים או עד כמה שני עיגולים אינם חד-מרכזיים. הסבולת מראה את קוטר המעגל שמרכזו הוא מרכז מעגל הייחוס שבתחומו מותר למרכז המעגל המיוחד להימצא



בדיקה: מניחים את משטח הייחוס הנבדק בין שני עוקצים ובודקים את המשטח באמצעות חוגן. מסובבים את החלק בתוך הפריזמה וקוראים את הסטייה המקסימלית והמינימלית בסיבוב שלם.

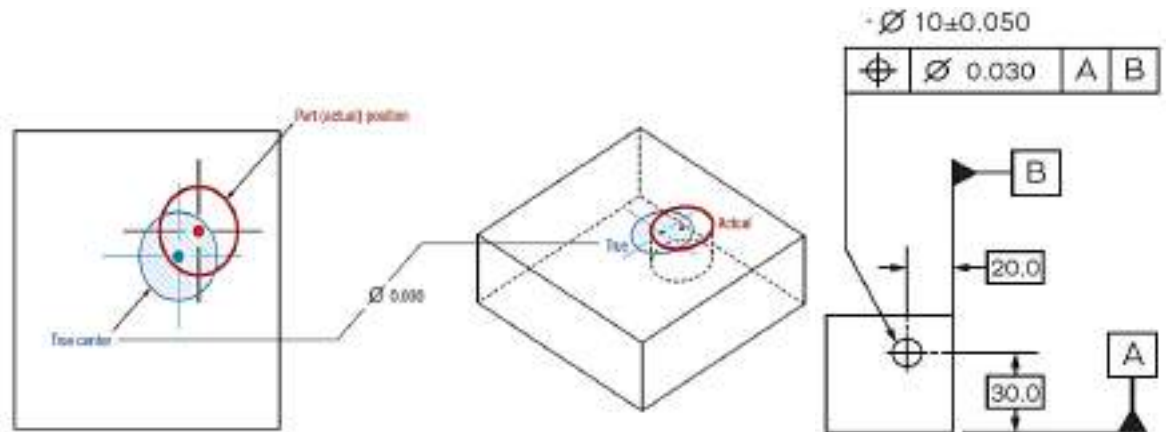


מיקום (Position)

משמעות

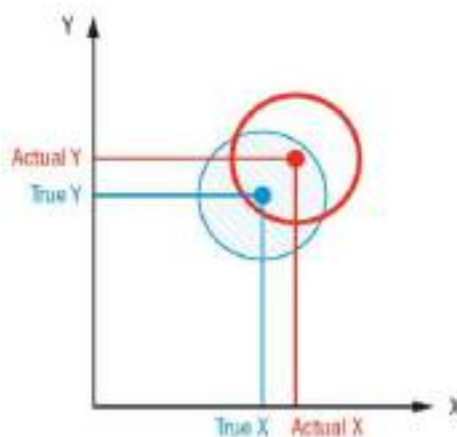
מתארת את מידת סטיית הפרט מהמקום המוגדר לו.

סימון



מידת הסטייה המותרת המקסימלית של מיקום ציר הקדח חייבת להימצא בתוך מעגל שקוטרו כגודל הסבולת. מיקומו התיאורטי ניתן בסרטוט ללא סיבולת, אלא כמידה בסיסית (BASIC).

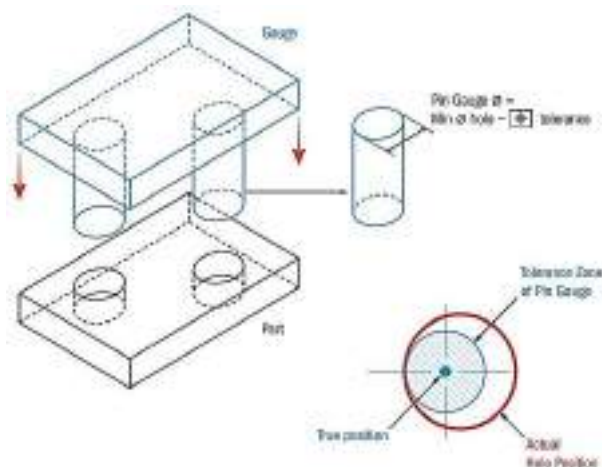
בדיקה:



Measure X and Y location and compare to the true position.

$$2 \cdot \sqrt{(\text{Actual X} - \text{True X})^2 + (\text{Actual Y} - \text{True Y})^2}$$

This formula must be less than the ϕ True Position tolerance

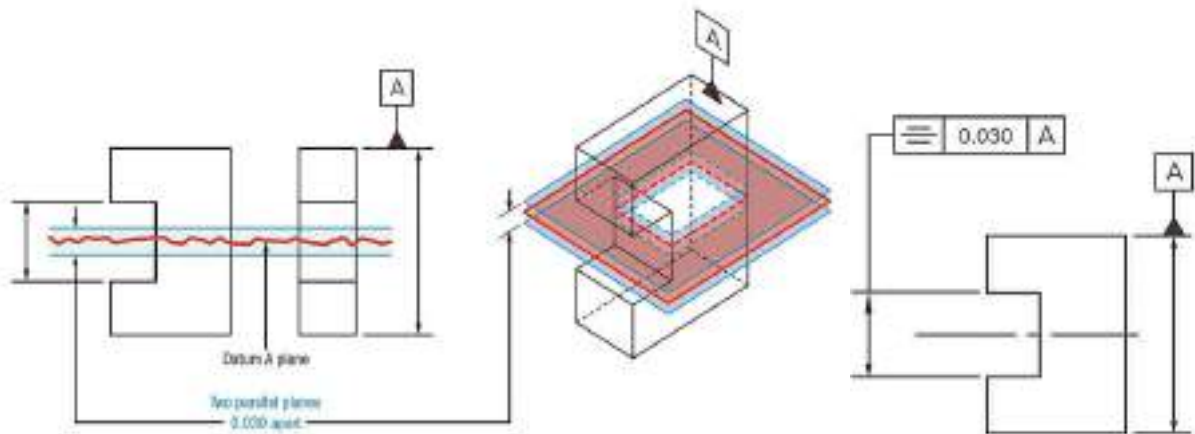


סימטריות (Symmetry)

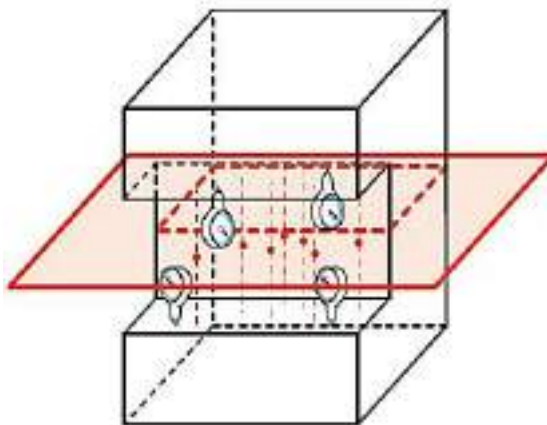
משמעות

סימון

מתארת עד כמה פרט הצריך להיות סימטרי ביחס לפרטי ייחוס אחרים, יכול לסטות מהסימטריות האידיאלית. המרחק המרבי בין ציר הסימטריה של משטח הייחוס ובין ציר הסימטריה של המשטח הנדון



בדיקה: מודדים את המידות a ו-b

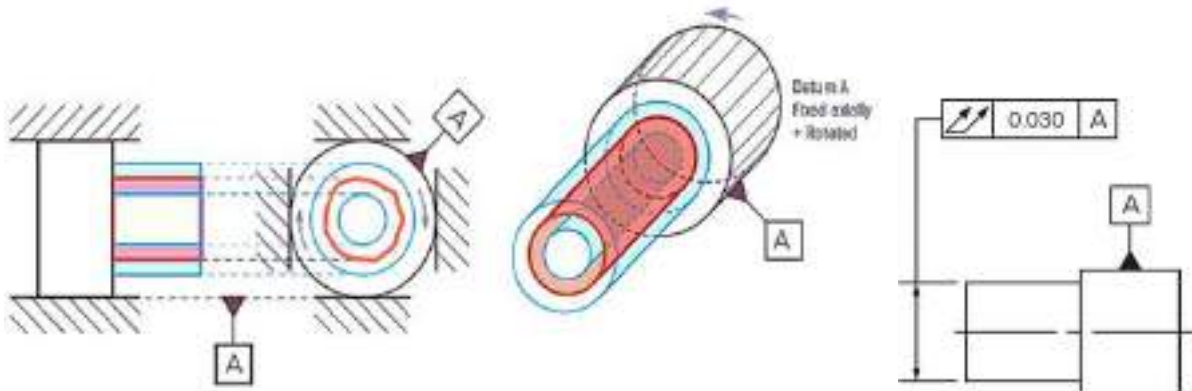


זריקה כוללת (Total Run out)

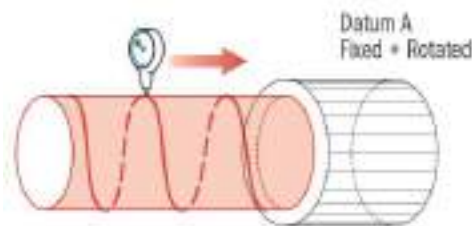
משמעות

הסטייה המרבית המותרת של אופיין ביחס לציר הייחוס, לכל אורכו של האופיין, כאשר הוא מבצע סבוב מלא סביב ציר הייחוס, חייבת להימצא בין שני ישרים (או מישורים) מקבילים למישור הייחוס. נשמרחה כגודל הכרולה.

סימון



בדיקה:



דרישות מיוחדות

מקסימום חומר (MMC-Maximum Material Condition)



סימון

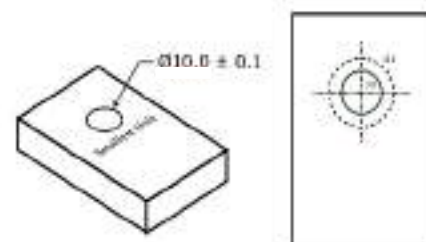
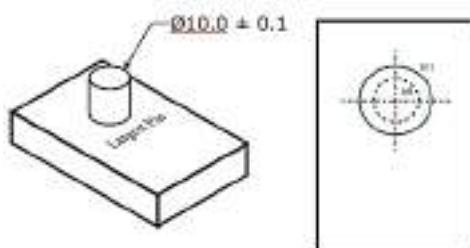
משמעות הסבולת הגיאומטרית המותרת לצורה ולתנוחה תלויה במידה המציאותית של האלמנט במקסימום חומר שנקבע לה.

קדח

קדח הקטן ביותר MMC =

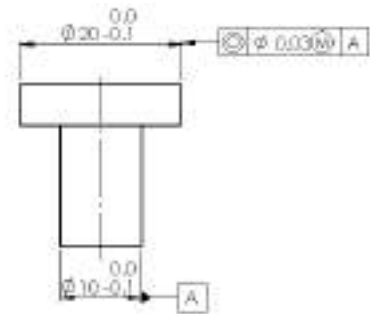
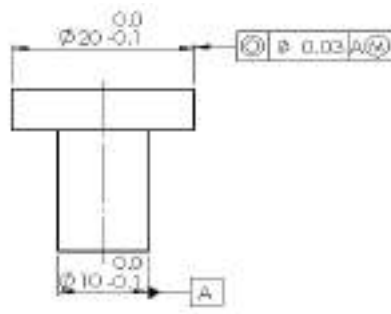
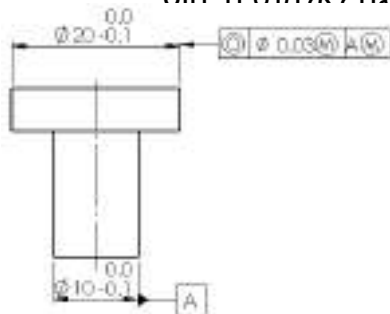
גל

גל הגדול ביותר MMC =



התנאי למקסימום חומר מתייחס רק לתנאי למקסימום חומר מתייחס רק לתנאי למקסימום חומר מתייחס רק לאלמנט עליו נתונה הסיבולת לאלמנט עליו נתונה הסיבולת לאלמנט עליו נתונה הסיבולת

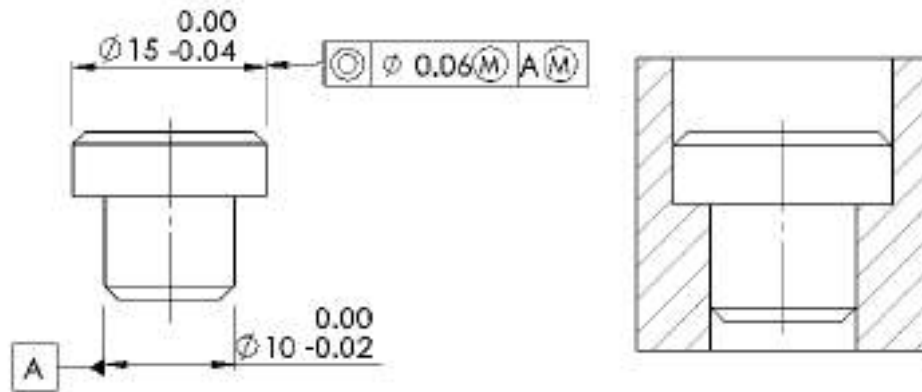
ונח לאלמנט הייחוס



העיקרון של מקסימום חומר מאפשר לא לפסול חלקים שעוברים למעשה את הסבולת של צורה ותנוחה הרשומות בשרטוט, אם מבחינה פונקציונלית חלקים אלה יכולים להשתלב עם פריטים אחרים בהרכבה.

דוגמת חישוב

פין מדורג חייב להתחבר עם פריט. לראש הפין נקבעה סבולת מרכזיות של 0.06 ביחס לקנה הפין. קטרי הפין יכולים להשתנות בין המידות המקסימליות והמידות המינימליות בהתאם לסבולת המידה.



שיעור המרכזיות הרשום בשרטוט 0.06 מתייחס למצב כאשר שני האלמנטים בעלי סבולת נמצאים במקסימום חומר (קוטר 10 וקוטר 15). כאשר הקטרים לא נמצאים במקסימום חומר, לדוגמא: $D=14.96$ ו- $d=9.98$ הסבולת היעילה גדלה בשיעור סכום הסבולות הנמדדות של ראש הפין ושל קנה הפין:

$$t=0.06+0.04+0.02=0.12$$

ולכן סטיית המרכזיות עבור הקטרים שהתקבלו הינה 0.12

מינימום חומר (LMC-Least Material Condition)

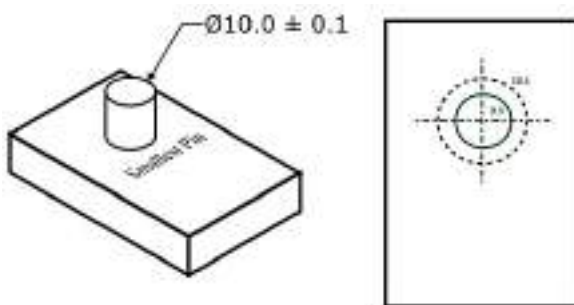


סימון

משמעות הסבולת הגיאומטרית המותרת לצורה ולתנוחה תלויה במידה המציאותית של האלמנט במינימום חומר שנקבע לה.

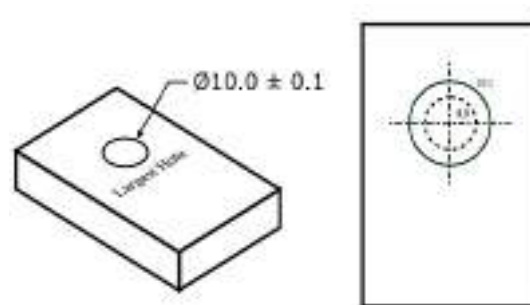
גל

LMC = גל הקטן ביותר



קדח

LMC = קדח הגדול ביותר



17. כלכלת הייצור

ההוצאות התלויות באופן ביצוע העיבוד נחלקות לשתי קבוצות:

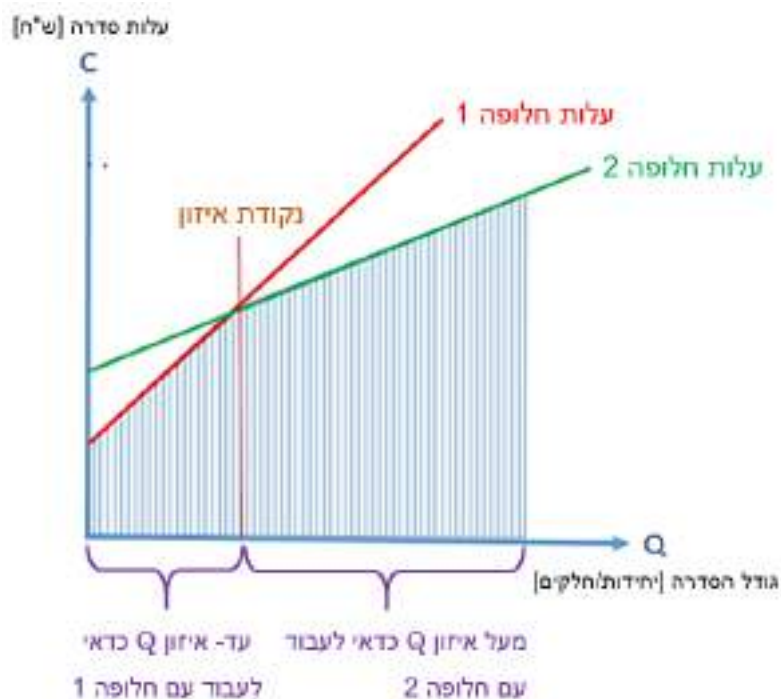
קבוצה A – עלויות חלק אחד: שכר עבודה, הוצאות שימוש במכונת עיבוד, מתקנים וכלים, עלות חומרים.

קבוצה B – הוצאות קבועות לסדרה: תכנון, גיוון מכונות ואחזקת ציוד, פחת, עלות כלים ומתקנים. הן מחושבות לכל כמות הפריטים המעובדים ואינן תלויות לרוב בגודל הסדרה.

עלות טכנולוגית ונקודת איזון

$$C = A \cdot Q + B$$

C	עלות טכנולוגית של עיבוד סדרה בעלת Q חלקים	ש"ח
A	עלות יחידה (לא כולל הוצאות קדם ייצור)	ש"ח
Q	כמות יחידות לייצור	
B	עלות כל ההוצאות <u>קבועות</u> לסדרה	ש"ח



עלות יחידת מוצר

$$A_{\text{כלי}} = (A_1 + A_2 + \dots) \cdot (1 + x)$$

$$A_1 = \frac{\text{עלות ח"ג}}{\text{ק"ג}} \cdot \frac{\text{כמות ח"ג}}{\text{יחידה}}$$

$$A_2 = \frac{\text{עלות שעת עבודה}}{\text{שעה}} \cdot \frac{\text{זמן ייצור}}{\text{יחידה}}$$

$$A_{\text{כלי}} \quad \text{עלות יחידת מוצר} \quad \frac{\text{ש"ח}}{\text{יחידה}}$$

$$A_1 \quad \text{עלות חומר גלם} \quad \frac{\text{ש"ח}}{\text{יחידה}}$$

$$A_2 \quad \text{עלות זמן עבודה} \quad \frac{\text{ש"ח}}{\text{יחידה}}$$

$$x \quad \text{אחוז חלקים פסולים}$$

לא נתון, הנח: $x = 0$ (0%)

חישובי זמן

$$T_{\text{סדרה}} = \frac{t_{\text{יחידה}}}{60} \cdot Q$$

שעות	זמן ייצור הדרוש לסדרה בעלת Q חלקים	$T_{\text{סדרה}}$
$\frac{\text{דקות}}{\text{יחידה}}$	זמן ייצור דרוש ליחידה בודדת	$t_{\text{יחידה}}$
יחידות	מספר יחידות דרוש לייצור	Q

$$T_D = \frac{\frac{t_{\text{יחידה}}}{60} \cdot Q}{D}$$

$\frac{\text{שעות}}{\text{יום}}$	D מספר שעות עבודה ביום
----------------------------------	------------------------

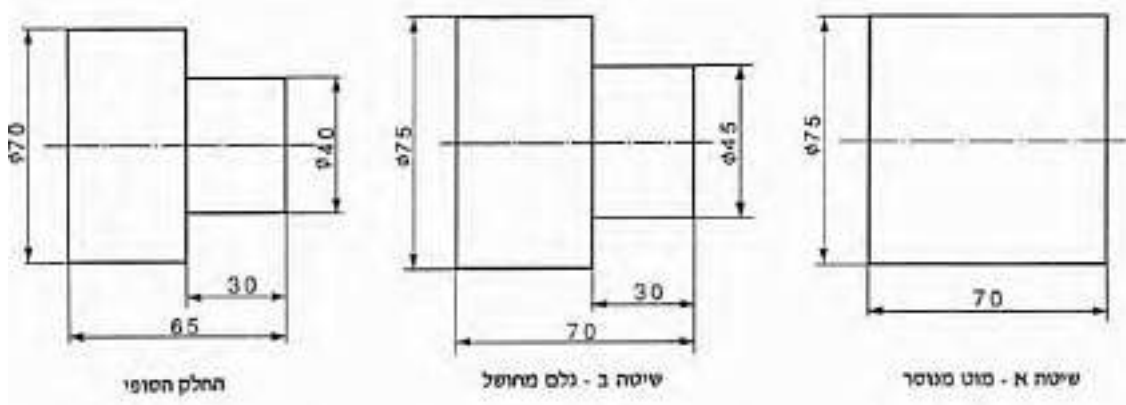
דוגמה 25

מוצע לעבד את החלק המתואר בשתי שיטות:

שיטה א' – עיבוד החלק ממוט עגול מנוסר $\emptyset 75 \times 70$

שיטה ב' – עיבוד החלק מחומר גלם בעל צורה מדורגת הקרובה לצורה הסופית של החלק.

המידות כוללות תוספות עיבוד.



נתונים:

$2 \frac{\text{ש"ח}}{\text{ק"ג}}$	עלות החומר
$12 \frac{\text{ש"ח}}{\text{חלק}}$	עלות חריטת מוט עגול
$8 \frac{\text{ש"ח}}{\text{חלק}}$	עלות חריטת חומר מחושל
$1.5 \frac{\text{ש"ח}}{\text{ק"ג}}$	עלות פעולות החישול
10000 ₪ (מתאים לייצור 6000 חלקים)	עלות כלי חישול

מצא את נקודת האיזון.

פתרון דוגמה 25

העלות הטכנולוגית של עיבוד החלקים בשיטה א' כוללת רק עלויות של קבוצה A, לכן הביטוי לחישוב עלות טכנולוגית C_x היא:

$$C_x = (A_1 + A_2) \cdot Q$$

$$A_1 = 12 \frac{\text{ש"ח}}{\text{חלק}}$$

$$A_2 = 2 \cdot m$$

$$m = \rho \cdot V$$

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = \frac{\pi \cdot 7.5^2}{4} \cdot 7 = 309.25 \text{ cm}^3$$

$$m = 7.85 \cdot 309.25 = 2428 \text{ g} = 2.43 \text{ kg}$$

$$A_2 = 2 \cdot 2.43 = 4.86 \frac{\text{ש"ח}}{\text{חלק}}$$

$$C_x = (12 + 4.86) \cdot Q = 16.86 \cdot Q$$

המשך פתרון דוגמה 25

העלות הטכנולוגית של עיבוד החלקים בשיטה ב' כוללת רק עלויות של קבוצה A וקבוצה B, לכן הביטוי לחישוב עלות טכנולוגית C_2 היא:

$$C_2 = (A_1 + A_2 + A_3) \cdot Q + B$$

$$A_1 = 8 \frac{\text{ש"ח}}{\text{חלק}}$$

$$A_2 = 2 \cdot m$$

$$m = \rho \cdot V$$

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 \cdot L + d^2 \cdot l) = \frac{\pi}{4} \cdot (7.5^2 \cdot 4 + 4.5^2 \cdot 3) = 224.5 \text{ cm}^3$$

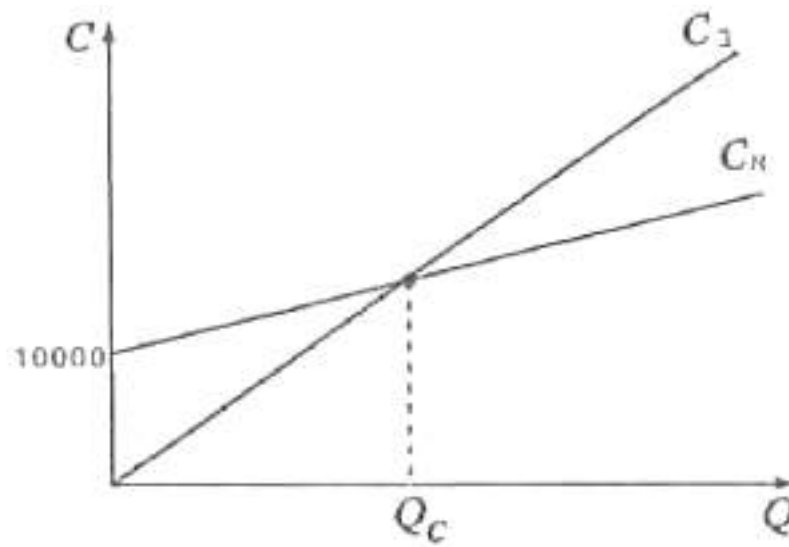
$$m = 7.85 \cdot 224.5 = 1762.3 \text{ g} = 1.76 \text{ kg}$$

$$A_2 = 2 \cdot 1.76 = 3.52 \frac{\text{ש"ח}}{\text{חלק}}$$

$$A_3 = 1.5 \cdot 1.76 = 2.64 \frac{\text{ש"ח}}{\text{חלק}}$$

$$C_2 = (8 + 3.52 + 2.64) \cdot Q + 10000 = 14.2 \cdot Q + 10000$$

המשך פתרון דוגמה 25



$$C_K = C_3$$

$$16.86 \cdot Q_c = 14.2 \cdot Q_c + 10000$$

$$Q_c = 3760$$

עד 3760 חלקים ניתן לייצר בחריטה. מעל 3760 חלקים יש לייצר בחישול.

דוגמה 26

במפעל התקבלה הזמנה לייצור גלי ארכובה. גלי ארכובה ניתן לייצר בעיבוד שבבי או בחישול. להלן נתונים על שיטות הייצור:

שיטת ייצור	עלות חומר גלם לקייג (ש"ח/קייג) $C_{חומר}$	כמות חומר גלם ליחידה (ק"ג/יח") m	עלות שעת עבודה (ש"ח/שעה) $P_{עבודה}$	זמן ייצור ליחידה (דקות/יח")	עלות שינוע ליחידה (ש"ח/יח")	עלות הכנות לייצור (ש"ח)	אחוזי פסילה בייצור
עיבוד שבבי	3.5	6	120	30	15	15,000	3%
חישול	5	4	85	15	20	140,000	6%

דרוש:

- עלות הייצור של פריט אחד בחישול, ועלות ייצור של פריט אחד בעיבוד שבבי (בלי להתחשב בעלויות הכנות לייצור).
- חשבו את עלות הייצור הכוללת להזמנה של 8000 פריטים בעיבוד שבבי ו-8000 פריטים בחישול (לכל הזמנה בנפרד).
- חשבו את נקודת האיזון בין שיטות הייצור וסרטטו גרף עלויות של מספר פריטים. מהי שיטת הייצור העדיפה? הסבירו.

פתרון דוגמה 26

א. עלות הייצור של פריט אחד בחישול, ועלות ייצור של פריט אחד בעיבוד שבבי (בלי להתחשב בעלויות הכנות לייצור).

$$C_{\text{עיבוד שבבי}} = A \cdot 1. x$$

$$A_{\text{ג"ח}} = 3.5 \cdot 6 = 21 \frac{\text{ש"ח}}{\text{חלק}}$$

$$A_{\text{עבודה}} = 0.5 \cdot 120 = 60 \frac{\text{ש"ח}}{\text{חלק}}$$

$$A_{\text{שינוע}} = 15 \frac{\text{ש"ח}}{\text{חלק}}$$

$$x = 3\%$$

$$C_{\text{עיבוד שבבי}} = (21 + 60 + 15) \cdot 1.03 \cong 99 \frac{\text{ש"ח}}{\text{חלק}}$$

$$C_{\text{חישול}} = A \cdot 1. x$$

$$A_{\text{ג"ח}} = 4 \cdot 5 = 20 \frac{\text{ש"ח}}{\text{חלק}}$$

$$A_{\text{ייצור}} = 0.25 \cdot 85 = 21.25 \frac{\text{ש"ח}}{\text{חלק}}$$

$$A_{\text{שינוע}} = 20 \frac{\text{ש"ח}}{\text{חלק}}$$

$$x = 6\%$$

$$C_{\text{חישול}} = (20 + 21.25 + 20) \cdot 1.06 = 65 \text{ ש"ח}$$

המשך פתרון דוגמה 26

ב. חשבו את עלות הייצור הכוללת להזמנה של 8000 פריטים בעיבוד שבבי ו-8000 פריטים בחישול (לכל הזמנה בנפרד).

$$C_{\text{עבוד שבבי}} = 99 \cdot 8000 + 15000 = 807000 \text{ ש"ח}$$

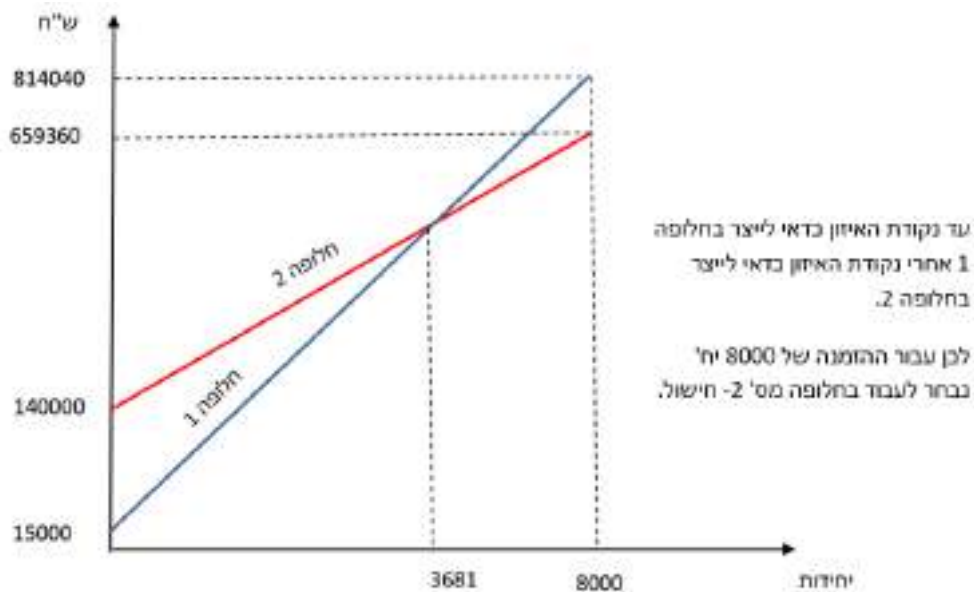
$$C_{\text{חישול}} = 65 \cdot 8000 + 140000 = 660000 \text{ ש"ח}$$

ג. חשבו את נקודת האיזון בין שיטות הייצור וסרטטו גרף עלויות של מספר פריטים. מהי שיטת הייצור העדיפה? הסבירו.

$$C_{\text{עבוד שבבי}} = C_{\text{חישול}}$$

$$99 \cdot Q_C + 15000 = 65 \cdot Q_C + 140000$$

$$Q_C = 3681$$



18. מבוא לעיבוד שבבי

עיבוד שבבי – תהליך המקנה צורה לחלק על-ידי הסרת שכבות חומר מיותר (שבבים) עד לקבלת הצורה החדשה, באמצעות שימוש במכונות לעיבוד שבבי עד לרמת דיוק של אלפיות המילימטר.

עיבוד בלתי שבבי – תהליך המקנה צורה לחלק מבלי שנסיר שכבות חומר (נפח החומר נשמר).

סוגי עיבוד

ארגון הייצור והתהליך הטכנולוגי של הייצור נקבעים על-פי כמות המוצרים שמבקשים לייצר ובכמות העבודה הדרוש לייצורם.

ייצור בודד

המוצרים מיוצרים אחד-אחד או בסדרות של כמה עשרות. העיבוד נעשה במכונות אוניברסליות, חומרי הגלם פשוטים ביותר ואינם מדויקים עם תוספות גדולות לעיבוד שבבי, ומוכנים בשיטה שלא דורשת השקעה גדולה כגון: ערגול בחום, חישול חופשי ועוד. יש צורך באנשי ייצור מקצועיים ברמה הכי גבוהה. דיוק הייצור **אינו מבטיח** חליפיות של המוצרים.

ייצור סדרתי

ייצור המתאפיין במגוון מוגבל של סדרות מוצרים ובתפוקה יחסית גבוהה.

ייצור המוני

מתאפיין בתפוקה גבוהה של מוצרים בייצור רצוף תוך שימוש בצידוד מיוחד מנגנוני הסעה ושינוע, החלפה אוטומטית של עובדים. הצידוד מבוסס על מכונות CNC ומרכזי עיבוד. חומר הגלם מדויקים וכוללים תוספות קטנות לעיבוד שבבי. דיוק הייצור המתקבל **מבטיח** חליפיות מלאה.

עקרונות תורת השיבוב

מטרת השיבוב הסרת עודף חומר בצורת שבבים, לקבלת מוצר מוגמר, מדויק ובאיכות הנדרשת.

כדי לקיים את עקרונות העיבוד השבבי צריכים להתקיים התנאים הבאים:

א. כלי חיתוך שקצהו קשה יותר מהחומר המעובד ובעל צורת יתד מתאימה.

ב. תנועה הדדית בין כלי החיתוך וחומר הגלם.

בביצוע העיבוד השבבי משתתפים שלושה גורמים:

- חומר גלם בעל מידות ראשוניות ממנו מסירים את החומר העודף.
- כלי חיתוך – אמצעי לחדירה והסרת חומר עודף.
- מכונת שיבוב – מספקת כוחות חיתוך ותנועה יחסית לקיום פעולת השיבוב.

שלבים בתהליך התהוות השבב:

- 1) חדירה ראשונית של כלי החיתוך לחומר המעובד.
- 2) המשך החדירה גורם לשכבת חומר לנוע קדימה (בכיוון בו אין התנגדות).
- 3) המשך תנועת החדירה גורם להתרוממות החומר העודף ולהתנתקותו בצורת שבב.

סוגי שבבים

זרימה



שבב רציף, לולייני וחתכו
אחיד. שבב זה מתקבל
בעיבוד במהירות חיתוך
גבוהה של חומרים רכים, כגון
פלדות גְּרִכות, פלדות קלות

גזירה



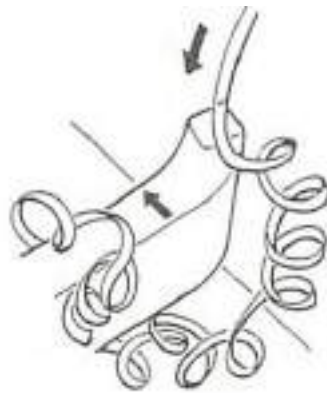
מתאפיין כאוסף של שבבים
המחוברים ביניהם רופף
וחתכו אינו אחיד. מתקבל
בעיבוד חומרים במהירות
חיתוך נמוכה

קריעה

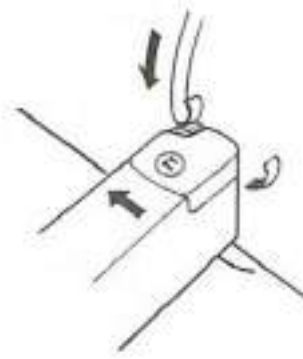


שבב מקוטע וקטן. שבב זה
מתקבל במהירות חיתוך
נמוכה יחסית כגון יציקות
ברזל, פלדות מסג וברונזה.

שובר שבבים מותקן בחלקו העליון של כלי החיתוך. תפקידו לגרום לשבירת השבב ברגע שהשבב נתקל בו.
הדבר מאפשר יצירת נפח שבבים קטן, שיפור בטיחות בעבודה, ריכוז שבבים לצורך שינוע.



עיבוד ללא שובר



עיבוד עם שובר שבבים

נתוני שיבוב

לפני עיבוד המוצר יש לקבוע את נתוני השיבוב באמצעותם יבוצע תהליך העיבוד. קביעת תנאי שיבוב נכונים מבטיחה עיבוד נכון ויעיל, שמירה על כלי החיתוך, קבלת השבב הרצוי, קבלת טיב שטח נדרש, אורך חיי כלי גבוהים ושמירה על המכונה.

מהירות חיתוך – v_c (cutting Velocity)

מהירות מוגדרת כדרך ליחידת זמן.

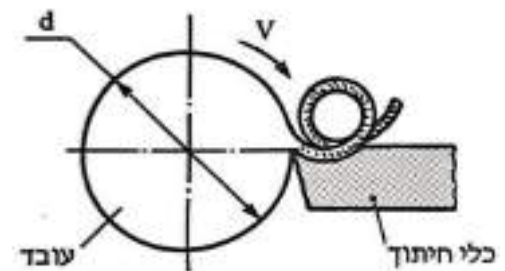
$$V = \frac{S}{t}$$

$\frac{m}{sec}$	מהירות	v
m	דרך	S
sec	זמן	t

היקף העובד המוסר – **דרך** באמצעות כלי החיתוך בדקה – **זמן** (המהירות הקווית היחסית בין אמצעי השיבוב לבין העובד). מהירות זו היא בעלת השפעה משמעותית על חיי הכלי, גימור פני השטח והפריון הכולל של תהליך העיבוד.

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

$\frac{m}{min}$	מהירות חיתוך	v_c
mm	קוטר העובד או הכלי	d
rpm	מהירות סיבוב	n



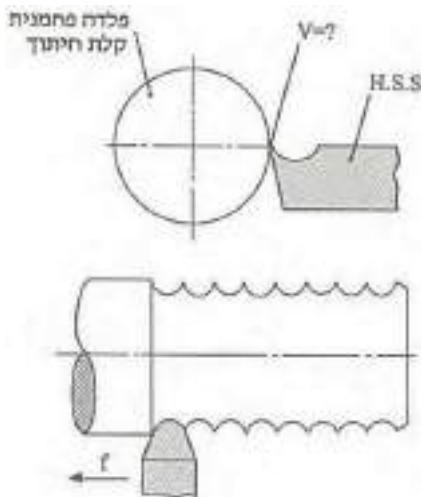
דוגמה: מהירות חיתוך $v_c = 30 \frac{m}{min}$ משמעותה קבלת שבב שאורכו 30 m במשך דקת עיבוד אחת.

את מהירות החיתוך קובעים לפי טבלאות של ייצרני הכלים, לפי סוג החומר המעובד, סוג הכלי המעבד וסוג העיבוד. לדוגמה טבלה (חלקית) לקביעת מהירות החיתוך בחריטה

חומר מעובד	חומר הכלי	מהירות החיתוך בהתאם לקידמה (f) mm/rev			
		f=0.1	f=0.2	f=0.4	f=0.8
פלדות פחמניות קלות חיתוך	H.S.S מתקיים	65÷55 350÷250	60÷50 320÷260	45÷35 280÷220	35÷25 250÷160
יצקת ברזל	H.S.S מתקיים	50÷40 160÷140	40÷30 130÷110	25÷15 90÷80	15÷10 80÷70
אלומיניום ומסנני	H.S.S מתקיים	60÷50 280	50÷40 200	40÷30 150	30÷20 100

עיבוד במהירות חיתוך מתאימה היא **תנאי יסוד והכרחי** לקבלת מוצר בתנאים אופטימליים מבחינת זמן העיבוד, שמירה על כלי החיתוך, טיב השטח והמכונה.

עיבוד מהירות חיתוך לא מתאימה עלול לגרום לשבירת הכלי, לשריפתו, לזמן עיבוד ארוך ובלאי מואץ של הכלי והמכונה.



דוגמה: בחר מהירות חיתוך מתאימה וקבע את מהירות הסיבוב הדרוש לביצוע חריטה חיצונית בפלדה פחמנית (SAE 1015), המעובדת בכלי העשוי H.S.S, עיבוד גס בקדמה 0.8 mm/rev. קוטר העובד לפני העיבוד 40 mm

$$v_c = \min 25 - \max 35 \frac{m}{min}$$

נבחר מהירות חיתוך ממוצעת $v = 30 \frac{m}{min}$

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 30}{\pi \cdot 40} \cong 240 \text{ rpm}$$

לאחר קביעת מהירות החיתוך יש לחשב (או למצוא בטבלאות/בדיאגרמות) את מספר סיבובי הכוש כדי להתאימו למהירות החיתוך שנקבעה.

קידמה – f

תנועה בה נע כלי החיתוך במקביל למשטח המעובד.

תנועת הקידמה מופקדת על רציפות תהליך החיתוך – שינוי המיקום היחסי של שפה חותכת על המשטח המעובד.

את שיעור הקידמה קובעים לפי סוג החומר המעובד, סוג העיבוד וסוג הכלי. כמו כן, שיעור הקידמה

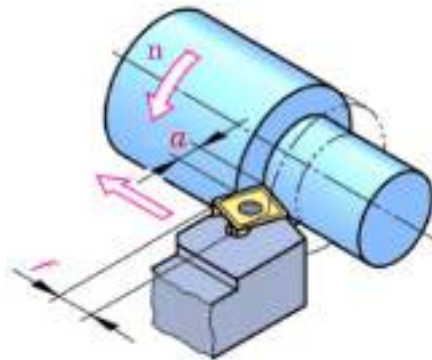
מושפע גם מהספק המכונה ויציבות הדפינה והיא נתונה בטבלאות של יצרן הכלים.

לקידמה השפעה על **טיב השטח המעובד**:

- * קידמה גדולה = שבב גס, מתקבל טיב שטח גרוע.
- * קידמה קטנה = שבב עדין, מתקבל טיב שטח טוב יותר.
- * קידמה קטנה מאוד גורמת לשחיקת כלי החיתוך.

קידמה סיבובית

המרחק שכלי החיתוך נע לאורך משטח הטעון עיבוד במהלך **סיבוב אחד** של העובד. שינוי מספר סיבובי העובד בדקה **יגרום** לשינוי הקידמה.



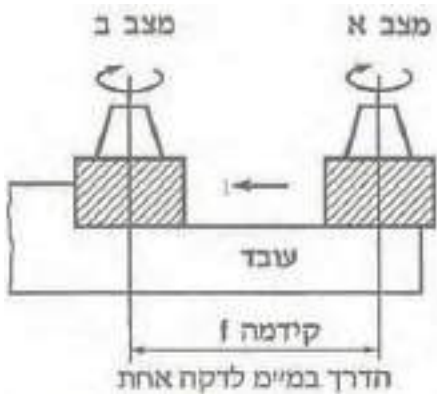
$$f (f_{rev}) \quad \text{קידמה סיבובית} \quad \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$$

$$f_{rev} = 0.8 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \quad \text{פירושה כלי החיתוך מתקדם מרחק } 0.8 \text{ mm בסיבוב שלם לאורך משטח הטעון עיבוד.}$$

קידמה קווית

המרחק שכלי החיתוך נע לאורך משטח הטעון עיבוד במהלך דקת עיבוד אחת.

$$v_f = f_{rev} \cdot n$$



$\frac{mm}{min}$	מהירות קדימה	v_f
$\frac{mm}{rev}$	קידמה סיבובית	f_{rev}
rpm	מהירות סיבוב	n

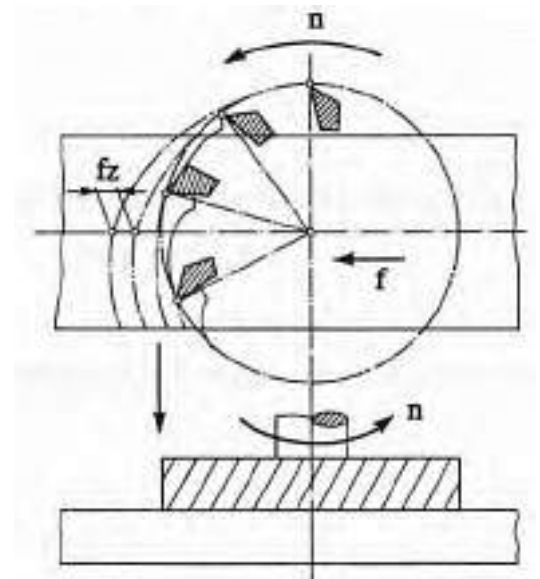
$v_f = 30 \frac{mm}{min}$ פירושה בכל דקת עיבוד יתקדם הכלי 30 mm לאורך העובד.

קידמה לשן

התקדמות של שן אחת של כלי העיבוד ביחס לעובד. שינוי מספר סיבובי כלי העיבוד לא יגרום לשינוי הקידמה.

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z$$

$\frac{mm}{min}$	מהירות קדימה	v_f
$\frac{mm}{tooth}$	קידמה לשן	f_z
rpm	מהירות סיבוב כלי העיבוד	n
	מספר שיני כלי העיבוד	z



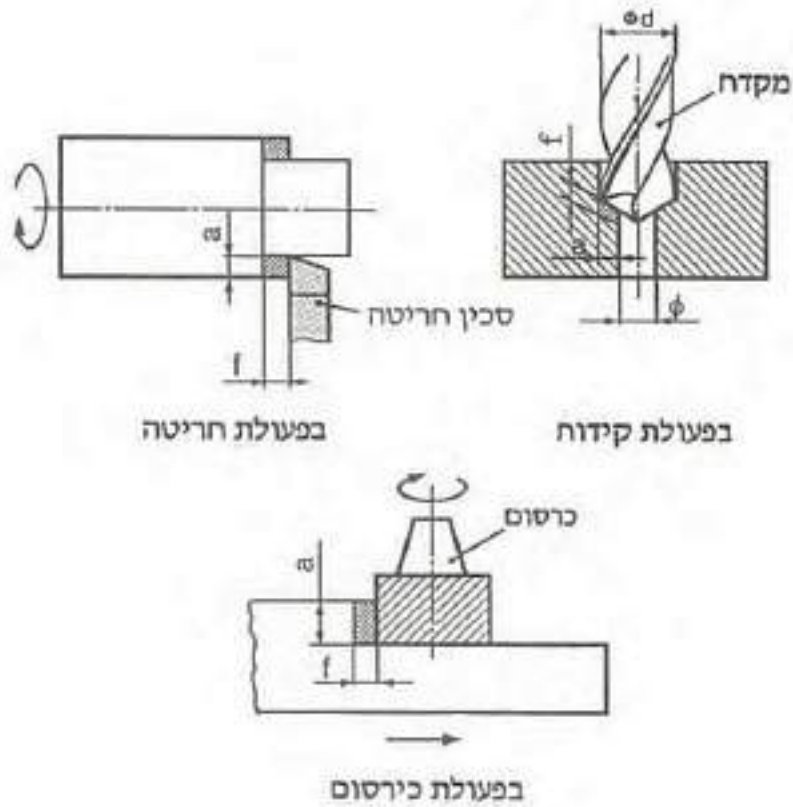
כרסום בעל 8 שיניים מסתובב 800 rpm. קידמה מומלצת לשן לפי נתוני היצרן $0.25 \frac{mm}{tooth}$. מה מהירות התנועה

הקווית של שולחן הכרסומת ?

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = 0.1 \cdot 8 \cdot 800 = 640 \frac{mm}{min}$$

היגש - α

תנועה שבה נע כלי החיתוך בניצב לשטח המעובד (גודל או עומק השבב במהלך העיבוד).



19. כלי חיתוך

תכונות נדרשות מחומרי כלי חיתוך

- * **קשיות גבוהה** – נדרשת להטחת חדירה לחומר ולמניעת שחיקה.
- * **מאמץ לחיצה וכפיפה גבוהה** – נדרש לעמידת בכוחות השיבוב.
- * **צפידות טובה** – למניעת יצירת שברים באזור השפה החותכת ולהקנות לכלי עמידה בעומס פתאומי ובזעזועים.

- * **עמידות תרמית גבוהה** – חומר הכלי חייב לשמר תכונות גם בטמפרטורות גבוהות. תכונה זו מנמיכה את מהירות החיתוך המרבית לכל אחד מהחומרים.



- * **מוליכות תרמית טובה** – להבטחת סילוק מהיר של חום מאזור השפות החותכות.
- * **מקדם חיכוך נמוך** - להיווצרות כמות חום קטנה בתהליך השיבוב.
- * **עמידות בשיתוך** – במגע עם השבב ונוזל חיתוך.
- * **כושר עיצוב צורתי** – לאפשר את עיצוב הכלי בהתאם לגיאומטריה הרצויה.
- * **התנגדות להדבקה** – מונעת הופעת קצה נבנה וריתוכים מקומיים באזור השפה החותכת.

פלדות כלים

תכונות: בטמפרטורה 200°C מאבד החומר מקשיותו, מהירות החיתוך המומלצת לחומר זה קטנה ביותר.

הרכב: $\text{min } 0.6\% - \text{max } 1.4\%$ פחמן (C), דלות צורן (Si) ובזרחן (P), מכילות מנגן (Mn).

שימושים: מסרטים, מדגשים, מברזים ואזמלים, עבודה במהירות חיתוך נמוכה.

פלדות מהירות – H.S.S (High Speed Steel)

תכונות: צפידות גבוהה, קשיות נמוכה, חוזק כפיפה גבוה, עמידה בטמפרטורת גבוהות, עבודה בקידמה גדולה.

הרכב: טונגסטן (W), מוליבדן (Mo), ונדיום (V), כרום (Cr), קובלט (Co)

שימושים: מברזים, כרסומי אצבע, משורים, מקדחים מקודדים,

הערה: כיום משתמשים בכלים מפלדה מהירה המצופים טיטניום ניטריד (TiN) המאפשרים מהירות חיתוך גדולה יותר, בלאי קטן יותר ואורך חיים ארוך יותר.

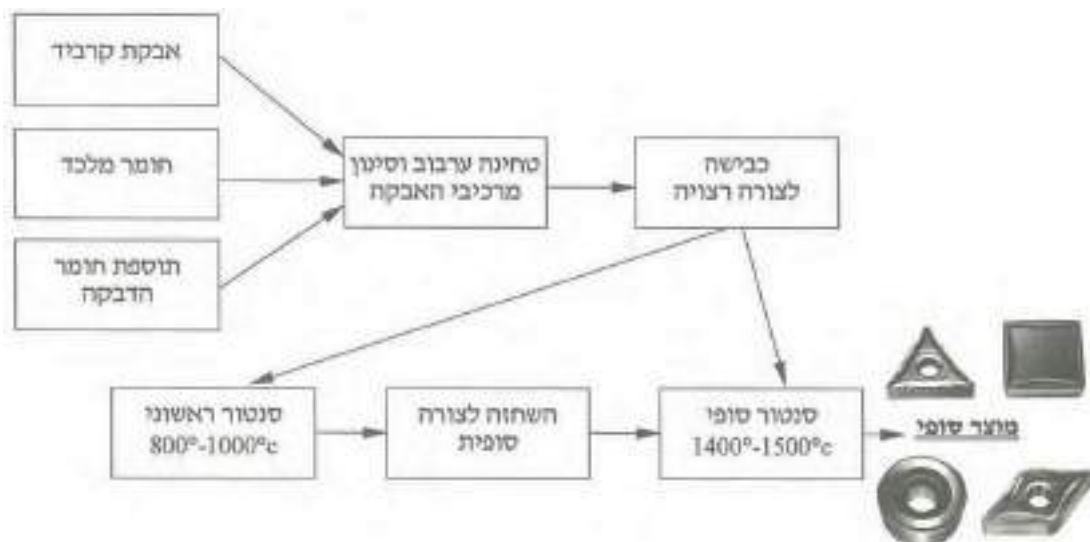
מתק"ש (מתכות קשות)

תכונות: עמידות בטמפרטורה גבוהה (עד 1000°C), חוזק לחיצה גבוה, צפיפות נמוכה, קשיות גבוהה, עיבוד במהירויות חיתוך גבוהות.

הרכב: מתכת קשה זהו חומר מורכב המיוצר על ידי סינטור (Sintering) מחומרי גלם אבקתיים, קרבידי וולפרם קשים המחוברים עם החומר המקשר הרך יותר קובלט.

שימושים: לוחיות (שימות) המותאמות לסכיני חריטה, שיני כרסומים, קצוות מקדחים ועוד.

הערות: בכדי למנוע את שבירת המתק"ש במכות פתאומיות, פותחה שכבת ציפוי דקה וקשה המעמידה בפני שחיקה. התוצאה מתק"ש מצופה, קשה וחזק בעל עמידות סבירה במכות ואורך חיים ארוך.



קרמיקה מתכת (קרמת - Cermet)

תכונות: עמידות טובה בבילאי, חוזק גבוה של שפות חותכות, קשיות גבוהה, חוסר תגובה כימית עם החומר המעובד.

הרכב: ניקל, קובלט כחומר מקשר..

שימושים: עיבודי גמר כאשר נחוצה שפה חדה קשה, עיבוד יצקת ברזל, אינם מתאימים לעיבוד סגסוגות אלומיניום.

סטליטים – סגסוגות יצוקות על בסיס קובלט (Stellites)

תכונות: מהירות חיתוך כפולה מ-H.S.S. ושמירה על קשיות עד 700°C .

הרכב: מסג אל-ברזלי יצוק המכיל קובלט, וולפרם, כרום ומעט פחמן.

שימושים: עיבוד פלדות אל-חלד, טיטניום סגסוגות על בסיס ניקל וקובלט, יצקת פלדה.

יהלום

הרכב: יהלום מלאכותי

תכונות: התנגדות כבדה לשחיקה, קשיות גבוהה

שימושים: עיבוד מתכות אל-ברזליות ועץ.

בורוזן

הרכב:

תכונות: חומר קשה יציב בחום ועמיד במכות.

שימושים: עיבוד פלדות, יצקת פלדה ונתחי פלדה מחוסמים.

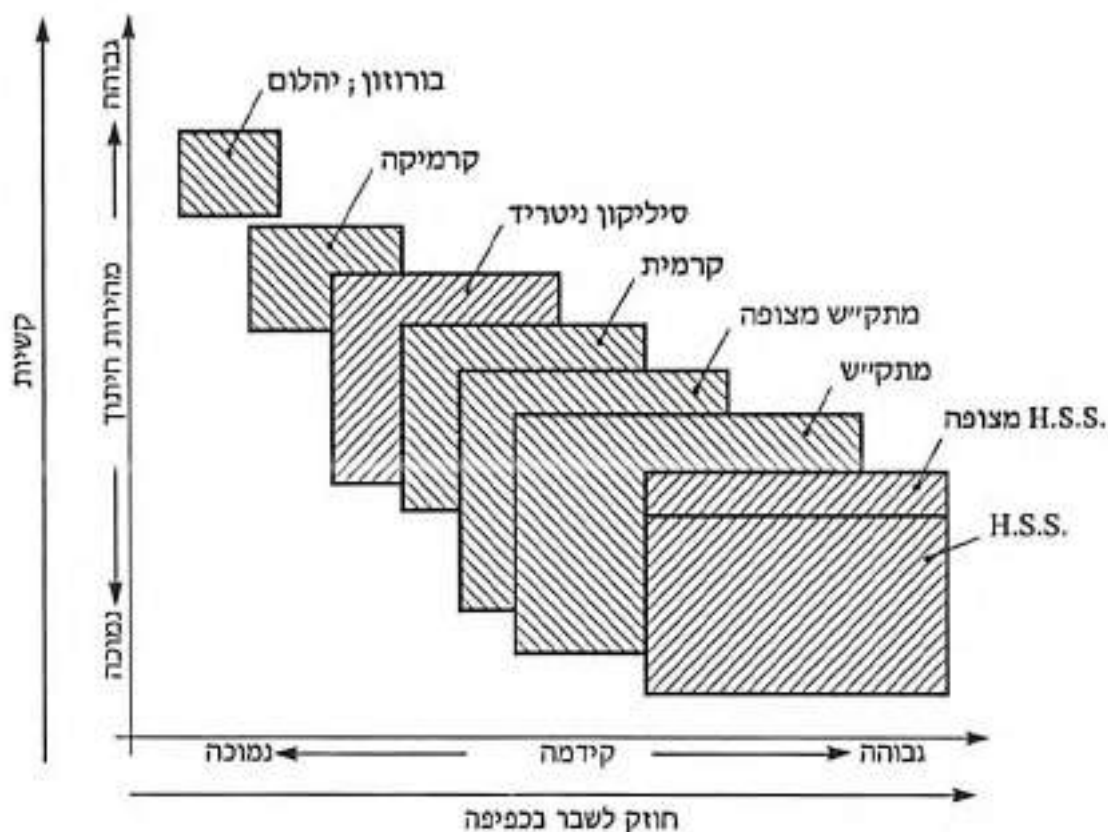
סליקון ניטריד

הרכב:

תכונות: חומר קשה, עמיד בזעזועים

שימושים: חריטה וכרסום של ברזל יציקה במהירות חיתוך וקידמה גבוהה.

גרף מסכם של תכונות של חומרים לבלי חיתוך מול תנאי שיבוב



חומר כלי	אורך חיים יחסי	מחיר יחסי	הערות
HSS	1	1	מתאים לכל סוגי הכלים והפעילויות (חוץ מהשחזה)
מתק"ש	10-4 ביחס ל-HSS	1 ביחס ל-HSS	מתאים לכל סוגי הכלים והפעילויות
חומרים קרמיים	~1000	10-5	מתאים רק לכירסום וחריטה של יציקות אמורות (גם מסוגסג), לעיבוד נס
קרמית (כמו ציפוי Titanium Nitrid)	~1000	3-2	מתאים לכירסום וחריטה בעיקר של פלדות
בורון CBN Cubic Boron Nitrid	יחסית למתק"ש 20-400 פי	פי 100 ויותר	לעיבוד כולל השחזה מול כל המתכות הברזליות מעל 45HRC ועד 72HRC
יהלום מלאכותי	יחסית למתק"ש 20-400 פי	פי 100 ויותר	מתאים לכל סוג עיבוד, לחומרים אל מתכתיים ואל ברזליים
יהלום טבעי			למראות אופטיות

זוויות היסוד בכלי חיתוך

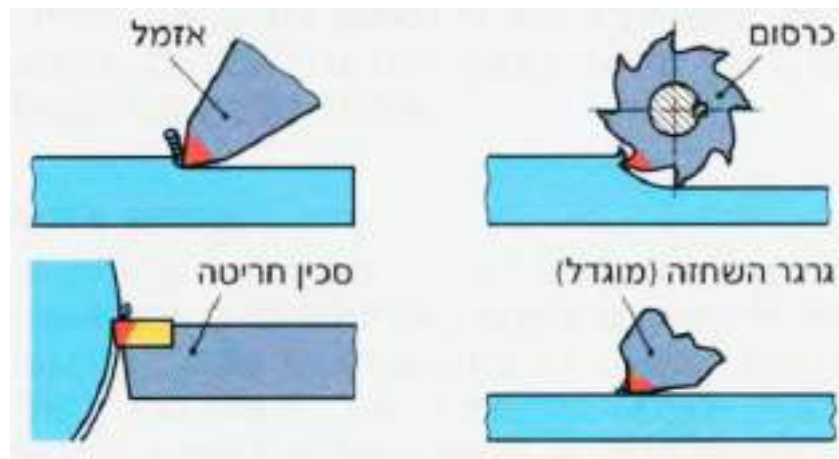
בכל תהליכי הייצור בעיבוד שבבי חשובים במיוחד:

* צורתה של השפה החותכת של הכלי ובכך לתהליך יצירת השבבים באותה שפה.

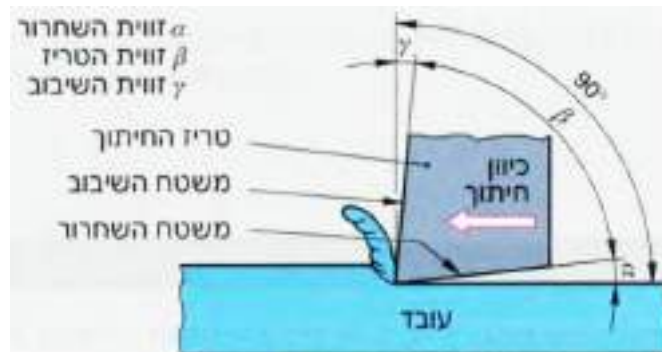
* הכוחות והטמפרטורות הנוצרים.

* עמידות נגד בלאי של חומרי החיתוך.

הצורה הבסיסית של כל השפות החותכות היא ה**טריז**. הכוחות והטמפרטורות הנוצרים בעיבוד השבבי גורמים לבלאי בטריז החיתוך. מסיבה זאת השפה החותכת צריכה להיות עמידה נגד בלאי וצפידה במידה מספקת בטמפרטורות גבוהות.



משטחים וזוויות בטריז החיתוך



זווית השחרור – α

זווית הנוצרת בין משטח השחרור והמשטח המעובד, הנחוצה על מנת להפחית את החיכוך בין הכלי לעובד. יש לבחור את גודלה כך, שהכלי יוכל לחתוך בחופשיות. תפקידה להקטין את החיכוך בין הכלי החותך לחומר המעובד ולהקטין רעידות כלי במגע עם החומר המעובד.

זווית הטריז – β

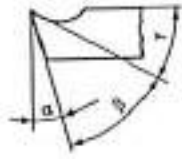
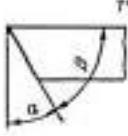
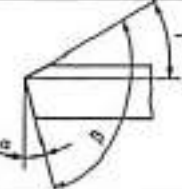
זווית הנוצרת בין משטח השיבוב ומשטח השחרור נקראת תפקידה לחדור לחומר המעובד. הזווית גורמת לריכוז כוח בשפה החותכת (קו החוד) ולכן יש לה השפעה על חוזק חוד הכלי. ככל שזווית הטריז קטנה יותר, השפה החותכת לא תשבר בעיבוד חומרים בעלי חוזק גבוה יותר, זווית הטריז חייבת להיות גדולה מספיק.

זווית השיבוב – γ

זווית הנוצרת בין משטח השיבוב והאנך למשטח העיבוד. על מנת למזער את הכוחות הנוצרים, יש לבחור זווית זו גדולה ככל האפשר. בעיבוד חומרים קשים יותר, בחיתוך מקוטע וחומרי חיתוך פריכים יותר, זווית השיבוב צריכה להיות קטנה או אפילו שלילית, כדי שהשפה החותכת לא תשבר. זוהי הזווית החשובה ביותר בטריז החיתוך, מכיוון שהיא משפיעה על יצירת השבב, אורך חיי הכלי וכוחות החיתוך.

זווית השחרור α		זווית השיבוב γ		זווית הטריז β	
קצת יותר גדולה	קטנה	גדולה	קטנה	קטנה	גדולה
חומרים רכים, הניתנים לעיבוד פלסטית, למשל פלסטיקים	חומרים קשים ויוצרי שבבים קצרים, למשל פלדות מסוגנות גבוה	חומרים רכים, בעיבוד גמר	חומרים קשים ופריכים, בעיבוד מקוטע, בעיבוד גס	חומרים רכים, למשל סגסוגות אלומיניום	חומרים קשים בעלי חוזק גבוה יותר, למשל פלדות מסוגנות גבוה

טבלת ערכי זוויות היסוד של כלי חיתוך העשויים מ H.S.S ומתק"ש עבור חומרי עובד שונים

זווית נטיית השבב λ	כלי חיתוך ממתק"ש			כלי חיתוך H.S.S.			צורת הכלי	חומר מעובד
	γ	β	α	זווית שיבוב γ	זווית יתד β	זווית שחרור α		
-4	18÷12	72÷64	8÷6	27	55	8		פלדות רכות
+4 (HSS) 0 (מתק"ש)	20÷12	68÷60	10	37÷34	50÷45	8÷6		מסג חמורן (דוראלומיניום)
+4 (HSS) -8 (מתק"ש)	0	82÷84	8÷6	3÷0	82÷79	8		פלדות מחוסמות
-4	-4	88	6	6÷0	82÷76	8		יצקת ברזל

20. נוזלי חיתוך

תפקיד חומרי הקירור והסיכה (Cooling lubricants – CL) הוא הקירור והשימון של העובד והכלי. חומרי קירור וסיכה מורידים את הטמפרטורה של הכלי, העובד והמכונה. הם משפרים את אורך חיי הכלי ואת טיב פני שטחם של העובדים. בנוסף הם מנקים את השבבים מהכלי ומסולקים ממרחק העובד והמכונה ומשפרים את טיב פני שטחם של העובדים.

שמני חיתוך – חומרים טהורים ברובם שמנים מינרליים, שחלקם מעורבבים עם תוספים. יש להם כושר סיכה מעולה ונותנים הגנה טובה מפני קורוזיה, אפקט הקירור שלהם פחות טוב בשל מוליכות תרמית נמוכה.

חומרי קירור סינתטיים – מורכבים מחומרים ממיסים שמתחלבים או נמסים במים. באופן זה נוצרים חומרי קירור וסיכה שקופים, המאפשרים התבוננות בפעולת הייצור.

אמולסיה – אפקט סיכה של שמן המעורבב עם מים היוצרת תערובת בעלת אורך חיים קצרה בשל רגישות לחיידקים.

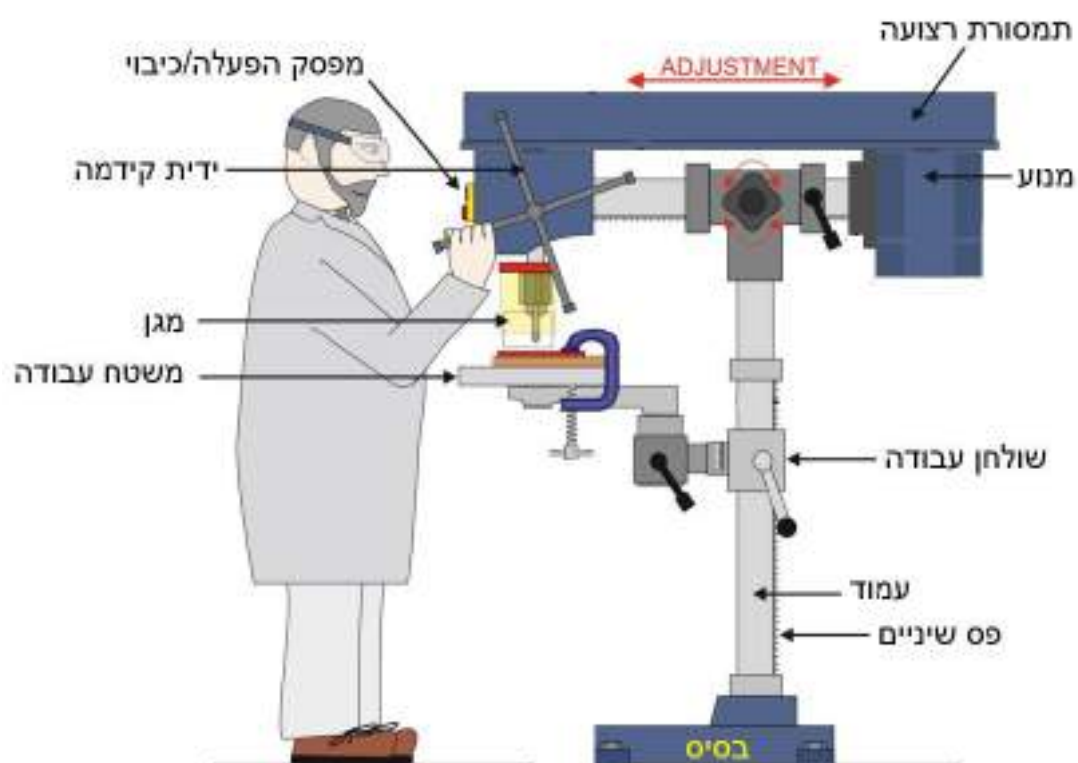
שימוש	סוג
- בטמפרטורות עבודה גבוהות - חריטה, כירסום, קידוח - לחומרים קלים לשיבוב	אמולסיה (תחליב) השפעת הקירור עולה על השפעת הסיכה
- במהירות חיתוך נמוכות - בטיב פני שטח גבוה - בחומרים קשים לשיבוב	שמן חיתוך השפעת הסיכה עולה על השפעת הקירור

21. קידוח, שיקוע, קידוד הברזה

קידוח

תהליך חיתוך חומר מוצק העושה שימוש בכלי חיתוך מרובה שיניים הנקרא **מקדח** במטרה לייצר קדח עגול. מכונת העיבוד נקראת מקדחה.

מקדחה



אמצעי דפינה

תפסנית
אוטומטית



תפסנית רגילה
דפינה עם מפתח



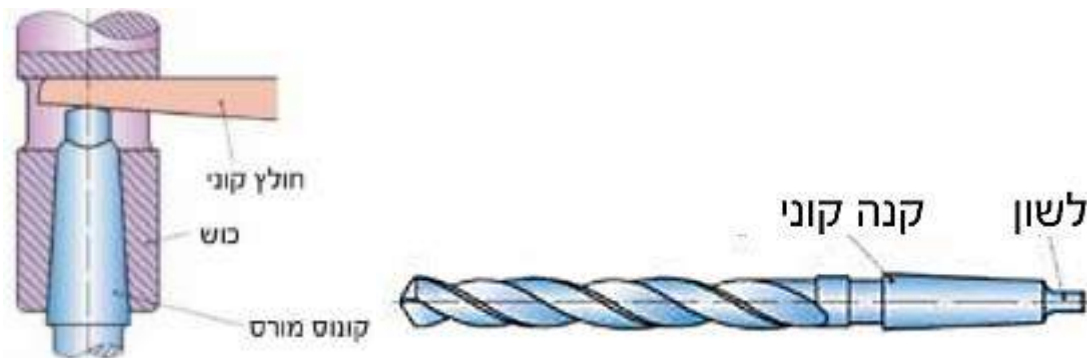
מחזיק לתפסנית
קפיצית



תפסנית קפיצית
(קולט)



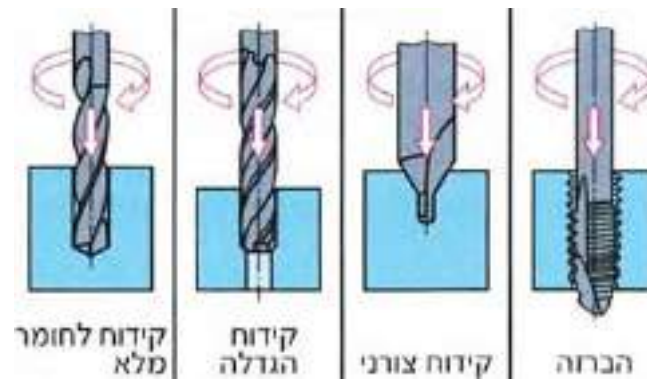
אמצעי דפינה מקדח גלילי



מגיע בקטרים מעל 12 ϕ ונדפן ישירות בכוש במכונה. לחילוץ המקדח משתמשים בחולץ הדוחף את לשון הקונוס.

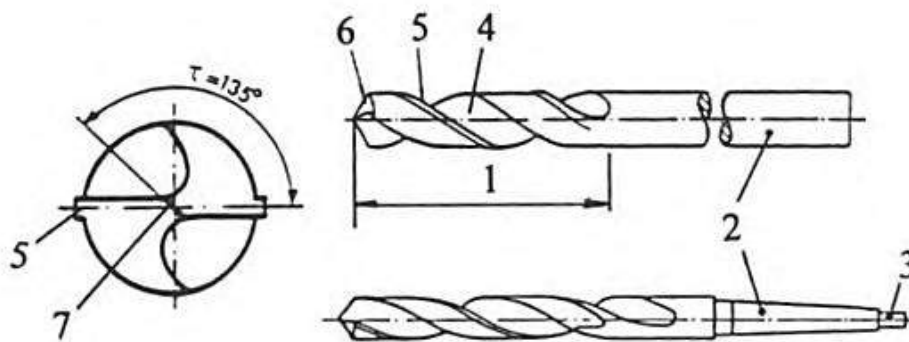
קונוס מורס – קונוס תקני בעל זווית 1.5° , המותאם לגודלו של קוטר מקדח ומסומן בספרות 0 עד 7 (0 הקטן ביותר, 7 הגדול ביותר).

פעולות בקידוח



מקדח

המקדח השכיח ביותר הוא מקדח לוליני (ספירלי).



- 1 גוף – החלק המבצע את העבודה
- 2 קנה – תפקידו לדפון את המקדח במכונה ובכך להעביר את תנועה הסיבובית⁹²
- 3 לשון – משמשת להוצאת מקדח בעל קנה קוני
- 4 לוליין (ספירלה) – מיועד לאפשר חדירת נוזל קירור והוצאה של שבבים מאזור הקידוח
- 5 שוליים – קובעים את קוטר המקדח, מקטינים חיכוך בין המקדח לדפנות החור
- 6 שפות חותכות – חותכות את החומר ויוצרות את השבב
- 7 מרכז "מת" (יתד) – ממרכז את המקדח

⁹² קנה המקדח יכול להיות גלילי או קוני ובהתאם לכך אמצעי הדפינה אליהם הוא מתחבר.

זוויות המקדח



צורתה הבסיסית של השפה החותכת במקדח היא טריז. שתי תעלות שבבים לולייניות נגדיות יוצרות את השפות החותכות הראשיות והמשניות וכן את פזות ההובלה. הקטנה מזערית של קוטר המקדח לאורך התעלות נועדה להקטין את החיכוך של פאזות ההובלה עם הקדח.

זווית השחרור – α

מתקבלת על-ידי השחזת שטחי השחרור הראשיים. הזווית צריכה להיות גדולה מספיק לשחרר את השפות החותכות ממשטח הקידוח, למנוע את שחיקתן ולאפשר קידמה גדולה. **אסור** שהזווית תהיה גדולה מידי, כדי שלא תחליש את השפה החותכת ותמנע רעידות.

במקדחים בעלי זווית ראש 118° , התנאי לקבלת זווית שחרור נכונה הוא קבלת זווית חוד 135° בין השפה החותכת הראשית לשפה החותכת המשנית.

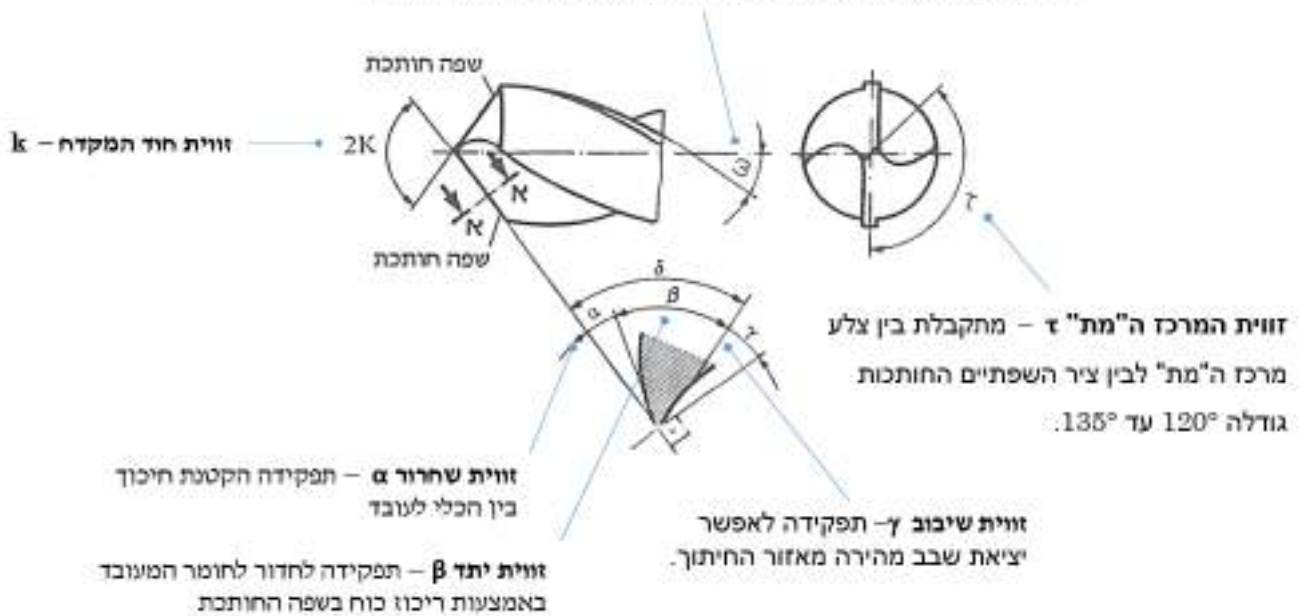
זווית הטרז (חוד) – β

הזווית שבין השפות החותכות הראשיות.

זווית השיבוב – γ

הולכת וקטנה מזוויתה הגדולה ביותר בקצה השפות החותכות לכיוון מרכז המקדח והופכת לשלילית בשפה החותכת המרכזית. זוהי הזווית החשובה ביותר בטרז החיתוך, מכיוון שהיא משפיעה על יצירת השבב, אורך חיי הכלי וכוחות החיתוך.

זווית הלולין ω – הזווית שבין כיוון השוליים לציר המקדח, הזווית



צלע המרכז ה"מת" מתקבלת ממפגש השפות החותכות. היתד פועל **אנכית** למשטח הנקדח.

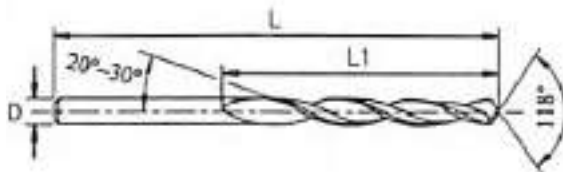
מכיוון שצלע המרכז ה"מת" (היתד) מקדימה את השפה החותכת, נוצרת התנגדות לתנועת הקידמה הגורמת ל:

* הפעלת כוחות גדולים על המקדח לצורך חדירה לחומר **אותם ניתן להקטין באמצעות קידוח בשלבים.**

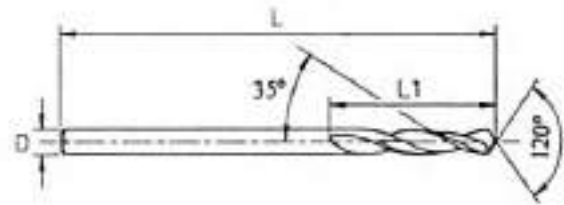
* קושי בהתמקדות המקדח במקום הנדרש עליו מתגברים באמצעות שימוש בכלי הדגשה או מקדח מרכזי.

קשר בין הזווית ω לבין כושרו של מקדח לקדוח בחומרים שונים.

(d)	γ	סילוק השבבים	הכוח הדרוש לקדיחה	חוזק המקדח	השימוש
קטנה	קטנה	נרוע	גדול	גדול	לחומרים קשים ופריכים
גדולה	גדולה	טוב	קטן	קטן	לחומרים רכים



לשימוש כללי - בפלדות, מתכות אל ברזליות
וחומרים סינתטיים



פינוי מהיר של השבבים -
לקידוח באלומיניום, נחושת, טיטניום

זווית חוד המקדח - k

חומרים עבור מקדחים ספירליים

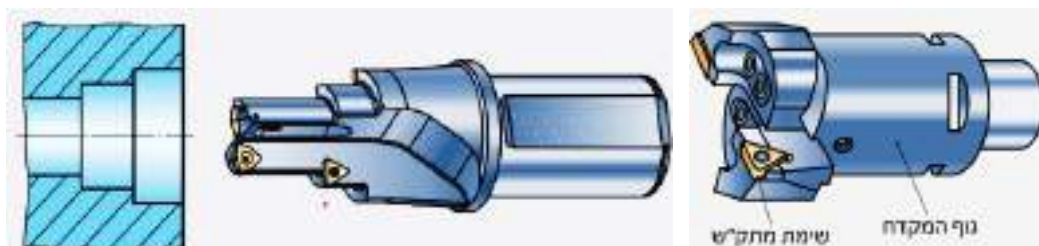
פלדה מהירה (H,S.S) בעלת צפידות גבוהה, עמידות בלאי טובה וקשיות גבוהה. ניתנים לציפוי בחומר מקטין בלאי לרוב טיטניום ניטריד (TiN), היוצר שכבה קשה מאוד ועמידה בפני בלאי וחום.

ניתנים לשימוש במרבית החומרים
טיב שטח טוב – תנאי ההחלקה בשפה החותכת ובתעלה מיטביים
אורך חיי כלי ארוכים במהירויות חיתוך וקידמה גבוהות



מקדח בעל לוחיות מתק"ש – במקדח זה הלוחיות מולחמות או מחוברות באופן מכני לקנה העשוי פלדת פחמן. משמש לקדיחה בחומרים קשים במיוחד: פלדת מנגן, חומרי פלסטיק קשים וכדומה.

מתאימים לקדיחה עד עומק 5D במהירויות חיתוך גבוהות וקדמות בינוניות.



בשל קשיות הגבוהה, ניתן לקדוח ללא מרכז גם משטחים עקומים עד נטייה 8°
קידוח בחומר מלא עד דרגת דיוק IT8
אורך חיי כלי ארוכים במהירויות חיתוך וקידמה גבוהות
מתאים לקידוח בחומרים קשים ושוחקים



קידוח עמוק

קידוח עמוק בחומר מלא בעומק גדול מ-3D הדבר עלול להיתקל בבעיות הבאות:

- יציבות וחוזק המקדח הארוך מול קוטרו
- הוצאת שבבים מתוך הקדח – מצטברים שבבים שאינם יוצאים באופן חופשי מתוך הלוליון ומגדילים את כמות החום הנוצרת במקדח הגורמת להעלאת הטמפרטורה בשפות החותכות של המקדח וגורמות להן לאבד את תכונותיהן.
- קירור המקדח באזור החיתוך

חתך פרבולי		חתך רגיל		סוג המקדח ואופי הקדיחה
עם קדחי קירור	בלי קדחי קירור	עם קדחי קירור	בלי קדחי קירור	
$(17+15)d$	$(15+10)d$	$7d$	$4d$	עומק קידוח קריטי



פתרונות:

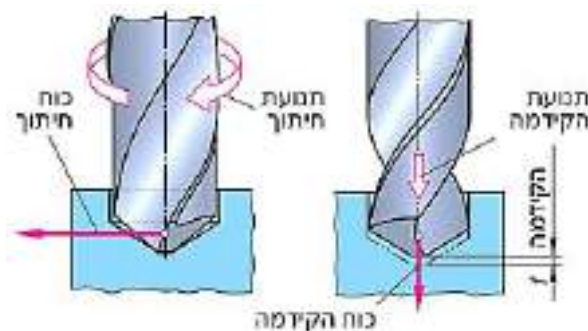
- 1) שינוי זווית הלוליון (ω) ל- 38° כדי לאפשר לשבבים לזרום בחופשיות.
- 2) שימוש במקדחים בעלי חתך פרבולי המאפשר להחדיר את נוזל הקירור לקצה המקדח.
- 3) שימוש במקדחים בעלי קדחי קירור המאפשרים להוריד במידה ניכרת את החום הנוצר בשפות החותכות ולהאריך את משך חיי המקדח. כמו כן, דוחף הנוזל את השבבים החוצה לאורך הלוליון ומונע את סתימתו.
- 4) שימוש במקדחים שצופו בציפוי מיוחד להקטנת החיכוך בין השבבים ללוליון המקדח.

דיוק בפעולות הקידוח

בפעולות הקידוח אפשר לעבד את החלקים ברמות שונות של דיוק וטיב שטח.

טיב פני שטח							שיטות לעיבוד קדחים		
N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	קידוח	ע"ד 15	קידוד
								מעל 15	
							קידוד	עיבוד רגיל	קידוד
								עיבוד עדין	

תנועות בפעולת הקידוח



תנועה ראשית – תנועה סיבובית (חיתוך) של כלי הקידוח היוצר כוח משיקי החודר לחומר המעובד (אפקט הטריז שגורם להפרדת השכבה מהשכבות האחרות).

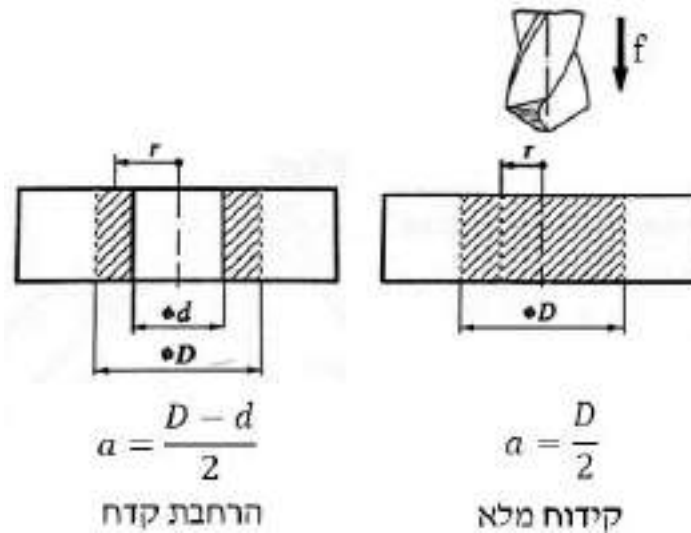
n תנועה ראשית סיבובית – תנועת החיתוך rpm

תנועת קידמה – גורמת להחדרת השפות החותכות של כלי החיתוך לחומר המעובד. הקידמה מתרחשת בקו ישר ובמקביל לציר המקדח.

f תנועת קידמה – תנועה בקו ישר לאורך ציר הסיבוב mm

היגש – רוחב השבב נקבע לפי קוטר המקדח.

a תנועת היגש – רוחב השבב mm^{93}



תהליך ייצור בקדיחה (דוגמה)

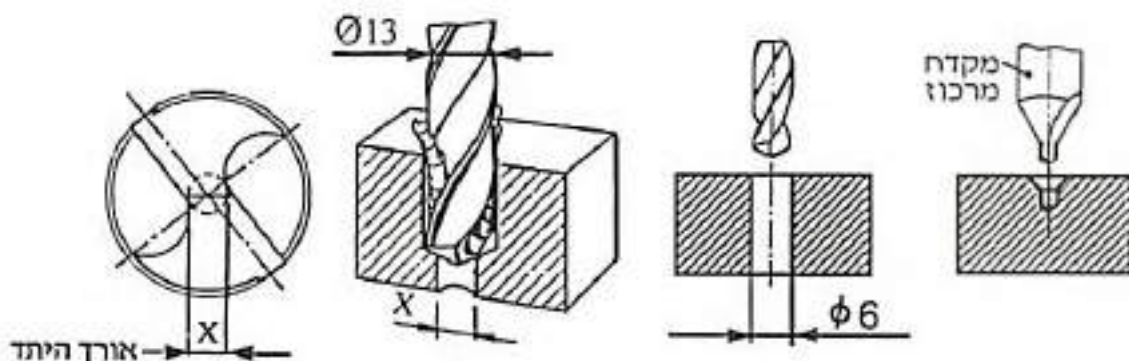
יש לקדוח קדח $\emptyset 13$ עובר.

א. קדיחת קדח מרכז לקביעת מיקום מדויק.

ב. קדיחה ראשונית במקדח קוטר $\emptyset 6$, השפעת אורך הצלע של המרכז ה-"מת" מצומצמת מכיוון שהיתד קצרה.

ג. קדיחה סופית במקדח $\emptyset 13$. לגודל של צלע המרכז ה-"מת" אין השפעה, ולכן ההתנגדות לקידוח שווה לאפס.

אורך היתד הוא $x = 4 mm$ והוא קטן מקוטר המקדח בקדיחה ראשונית.



⁹³ ההיגש נקבע לפי קוטר המקדח (לא מתייחסים לזווית החוד הגורמת להיגש גדול)

חישובים בקדיחה

מהירות סיבוב

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D}$$

v_c	מהירות חיתוך (מהירות הקפית)	$\frac{m}{min}$
n	מהירות סיבוב המקדח	rpm
D	קוטר המקדח	mm

מהירות קידמה קווית

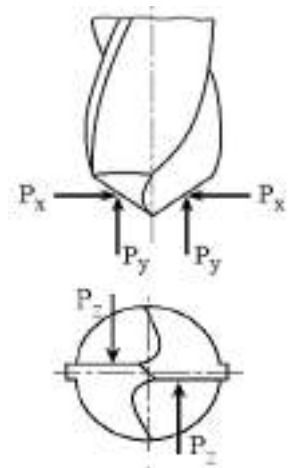
$$v_f = f \cdot n$$

v_f	קדמה קווית	$\frac{mm}{min}$
f	קידמה סיבובית	$\frac{mm}{rev}$
n	מהירות סיבוב	rpm

כוח חיתוך

$$P_z = K_S \cdot a \cdot f$$

P_z	רכיב משיקי של כוח החיתוך הפועל בניצב לשפת החיתוך	N
P_x	רכיב צירי של כוח החיתוך הפועל במקביל לציר המקדח.	N
P_y	רכיב רדיאלי של כוח החיתוך. לרוב אין לכוח זה השפעה	N
k_S	התנגדות סגולית בקדיחה (נתון)	MPa
a	היגש	mm
f	קידמה סיבובית	$\frac{mm}{rev}$



מומנט סיבוב דרוש להנעת המקדח

$$M_t = P_z \cdot f \cdot z$$

M_t	מומנט סיבוב	Nmm
P_z	רכיב משיקי של כוח החיתוך הגורם לפיתול המקדח	N
f	קידמה סיבובית	$\frac{mm}{rev}$
z	מספר שיני המקדח	

לא נתון, הנח: $z = 2$

הספק נדרש לביצוע קדיחה

$$H = \frac{M_t \cdot n}{9.55 \cdot 10^6 \cdot \eta} = \frac{M_t \cdot v}{30 \cdot D \cdot \eta}$$

H	הספק ⁹⁴	kW
M_t	מומנט סיבוב	Nmm
n	מהירות סיבוב המקדח	rpm
η	נצילות מקדחה	
	לא נתון, הנח: $\eta = 0.7 - 0.8$	
D	קוטר המקדח	mm
v_c	מהירות חיתוך (מהירות הקפית)	$\frac{m}{min}$

⁹⁴ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) או באות N לסימון המושג **הספק** הוא יחליף את השימוש באות H .

זמן קדיחה

$$t = \frac{L}{f \cdot n} = \frac{L}{v_f}$$

min	זמן קידוח ישיר	t
mm	עומק הקידוח - הדרך שעושה המקדח בזמן העיבוד	L
rpm	מהירות סיבוב המקדח	n
$\frac{\text{mm}}{\text{rev}}$	קידמה סיבובית	f
$\frac{\text{mm}}{\text{min}}$	קדימה קווית	v_f

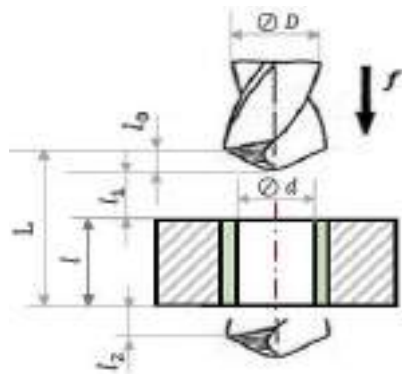
הרחבת קדח

$$a = \frac{D - d}{2}$$

$$r = \frac{D + d}{4}$$

$$l_0 = 0.3 \cdot d$$

$$L = l_0 + l_1 + l + l_2$$



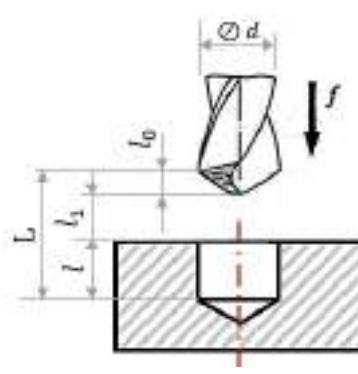
קדח "עיוור"

$$a = \frac{D}{2}$$

$$r = \frac{D}{4}$$

$$l_0 = 0.3 \cdot d$$

$$L = l_0 + l_1 + l$$



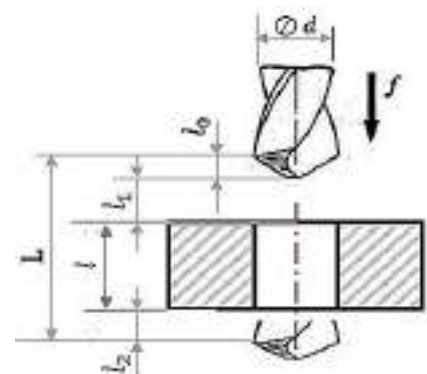
קדח עובר

$$a = \frac{D}{2}$$

$$r = \frac{D}{4}$$

$$l_0 = 0.3 \cdot d$$

$$L = l_0 + l_1 + l + l_2$$



mm	מהלכי סרק כניסה/יציאה	l_1, l_2
2 mm	לא נתון הנח:	
mm	גובה חוד המקדח	l_0
mm	קוטר המקדח	D, d

טבלה 8 – תנאי שיבוב בקדיחה מקדחי H.S.S.

חומר העובד	תכונות מכניות	מהירות חיתוך v_c	קידמה צרית - f בהתאם לקוטר המקדח						
			$\emptyset 3-5$	$\emptyset 5-8$	$\emptyset 8-11$	$\emptyset 11-14$	$\emptyset 14-17$	$\emptyset 17-20$	$\emptyset 20-25$
פלדות פחמניות	$\sigma_B < 500$	40-30	0.14-0.05	0.20-0.10	0.25-0.16	0.28-0.20	0.30-0.22	0.32-0.24	0.35-0.26
	$500 < \sigma_B < 700$	34-25	0.10-0.04	0.16-0.09	0.22-0.14	0.24-0.16	0.26-0.20	0.28-0.22	0.30-0.24
פלדות מסג	$750 < \sigma_B < 900$	22-15	0.08-0.02	0.12-0.06	0.16-0.10	0.18-0.14	0.20-0.16	0.22-0.18	0.25-0.20
	$\sigma_B > 900$	16-10	0.06-0.01	0.10-0.04	0.14-0.08	0.16-0.12	0.18-0.13	0.20-0.14	0.22-0.16
פלביים		12-8	0.07-0.02	0.12-0.06	0.15-0.10	0.18-0.14	0.20-0.16	0.22-0.18	0.24-0.20
ברזל יציקה	$HB < 200$	35-25	0.16-0.05	0.22-0.12	0.30-0.20	0.34-0.24	0.35-0.30	0.40-0.32	0.45-0.35
	$HB > 200$	25-15	0.12-0.03	0.20-0.09	0.28-0.14	0.32-0.18	0.35-0.20	0.38-0.23	0.40-0.25
נחושת ונתכים		70-40	0.14-0.04	0.20-0.10	0.26-0.16	0.28-0.20	0.30-0.20	0.34-0.22	0.35-0.25
אלומיניום		150-80	0.14-0.06	0.20-0.14	0.26-0.20	0.30-0.26	0.33-0.30	0.40-0.33	0.35-0.25

טבלה 9 – תנאי שיבוב מקדחי מתק"ש

חומר העובד	סוג מתקיש	מהירות חיתוך v_c	קידמה צרית - f					
			$\emptyset 3-5$	$\emptyset 5-8$	$\emptyset 8-11$	$\emptyset 11-14$	$\emptyset 14-17$	$\emptyset 17-20$
פלדות - 700-1000 MPa	P-40	70-100	0.06-0.10	0.08-0.15	0.12-0.20	0.16-0.25	0.20-0.30	0.25-0.30
פלדות מעל - 1000 MPa	P-40	60-90	0.04-0.08	0.06-0.10	0.10-0.15	0.12-0.16	0.13-0.18	0.15-0.20
פלדות מטופלות - 40-45 HRC	P-40	35-50	0.02-0.04	0.03-0.07	0.05-0.08	0.06-0.09	0.08-0.10	0.09-0.11
ברזל יציקה עד - 350 HB	P-40	50-70	0.03-0.05	0.04-0.08	0.07-0.12	0.10-0.13	0.12-0.16	0.14-0.18
ברזל יציקה בין - 350-400 HB	P-40	40-60	0.02-0.04	0.03-0.07	0.05-0.08	0.06-0.09	0.08-0.10	0.09-0.11
יציקות מעל - 450 HB	K-10-20	30-40	0.02-0.04	0.03-0.07	0.05-0.08	0.06-0.09	0.08-0.10	0.09-0.11
פלדות מנגן	P-40	25-40	0.02-0.04	0.03-0.07	0.05-0.08	0.06-0.09	0.08-0.10	0.09-0.11
ברונזה קשה	K-10-20	50-60	0.04-0.08	0.06-0.12	0.10-0.15	0.14-0.18	0.17-0.20	0.18-0.25
טיטניום	K-10-20	30-40	0.04-0.08	0.06-0.12	0.10-0.18	0.14-0.22	0.20-0.25	0.20-0.30

f - קידמה צרית - $\left[\frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right]$

v_c - מהירות חיתוך - $\left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right]$

טבלה 10 – התנגדות סגולית לשיבוב בקדיחה $K_S \left[\frac{N}{mm^2} \right]$

קידמה (בחריטה ובקידוח), $f \left[\frac{mm}{rev} \right]$							המאמץ הגבולי	סוג המתכת
3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	$\sigma \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	
600	1,000	1,350	1,900	2,600	3,600	4,600	450	SAE 1113
600	1,000	1,350	1,900	2,600	3,600	4,600	400	SAE 1015
600	1,000	1,350	1,900	2,600	3,600	4,600	450	SAE 1020
700	1,000	1,500	2,100	2,900	4,000	5,500	500	SAE 1025
700	1,000	1,500	2,100	2,900	4,000	5,500	650	SAE 1040
850	1,100	1,600	2,300	3,150	4,400	6,000	700	SAE 1045
850	1,100	1,600	2,300	3,150	4,400	6,000	650	SAE 1060
950	1,200	1,700	2,400	3,300	4,600	6,500	700	SAE 1070
950	1,200	1,700	2,400	3,300	4,600	6,500	800	SAE O1
1,000	1,250	1,750	2,450	3,400	4,700	6,500	650	SAE 3115
1,250	1,500	2,000	2,750	3,800	5,300	5,900	1,200	SAE 4140
1,500	1,800	2,150	3,000	4,100	5,700	7,200	1,400	SAE 4340
500	800	1,080	1,500	2,080	2,900	3,900	–	יצקת אפורה

דוגמה 27

יש לקדוח בפלדת אל-חלד (נירוסטה) SAE302, בעלת קשיות HB 210, במקדח העשוי מפלדה מהירה HSS לא מצופה. קוטר מקדח $\phi 12$. קבעו את תנאי השיבוב.

מטבלה 8 – מהירות חיתוך

$$v = 17 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$f = 0.18 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$$

מהירות סיבוב מקדח

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 17}{\pi \cdot 12} = 451 \text{ rpm}$$

מהירות קידמה

$$v_f = f \cdot n = 0.18 \cdot 451 = 82 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

דוגמה 28

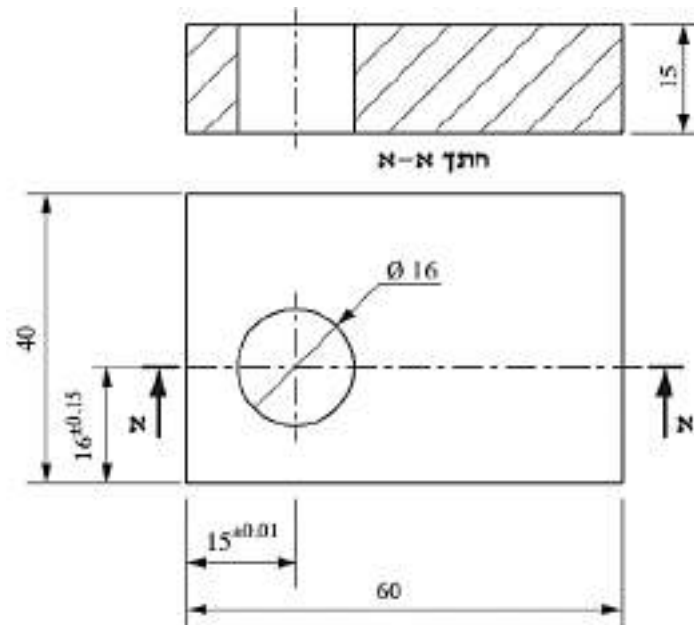
באיור לשאלה מתואר עובד העשוי מיצקת ברזל אפורה בעלת קשיות HB 170. יש לקדוח קדח בקוטר $\varnothing 16 \text{ mm}$ באמצעות מקדח מתק"ש, כמתואר באיור לשאלה.

נתונים:

התנגדות סגולית לשיבוב של חומר העובד $K_S = 2200 \text{ MPa}$

קידמה לשיבוב $f = 0.14 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$

מהירות חיתוך $v_c = 60 \frac{\text{m}}{\text{min}}$



דרוש:

א. חשבו את זמן הקידוח הכולל באמצעות המקדח הלולייני, אם נתון שמיקומו של המקדח בתחילת הקידוח 5 mm מעל החומר.

ב. חשבו את כוח החיתוך המשיקי P_z , שמפעיל המקדח הלולייני על העובד.

פתרון דוגמה 28

א. חשבו את זמן הקידוח הכולל באמצעות המקדח הלולייני, אם נתון שמיקומו של המקדח בתחילת הקידוח 5 mm מעל החומר.

$$t = \frac{L}{f \cdot n}$$

$$L = l_0 + l_1 + l + l_2$$

$$l_0 = 0.3 \cdot d = 0.3 \cdot 16 = 4.8 \text{ mm}$$

$$l_1 = 5 \text{ mm}$$

$$l = 15 \text{ mm}$$

$$l_2 = 2 \text{ mm}$$

$$L = 4.8 + 5 + 15 + 2 = 26.8 \text{ mm}$$

$$f = 0.14 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$$

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 60}{\pi \cdot 16} \cong 1200 \text{ rpm}$$

$$t = \frac{26.8}{0.14 \cdot 1200} = 0.16 \text{ min}$$

ב. חשבו את כוח החיתוך המשיקי P_Z , שמפעיל המקדח הלולייני על העובד.

$$P_Z = K_S \cdot a \cdot f$$

$$K_S = 2200 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{D}{2} = \frac{16}{2} = 8 \text{ mm}$$

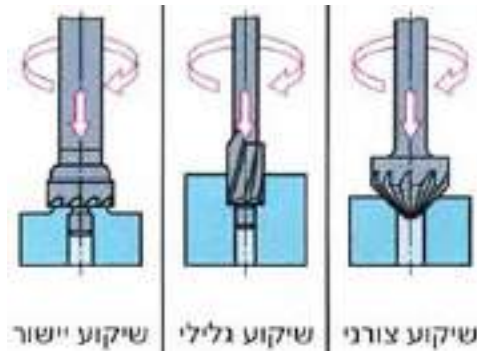
$$f = 0.14 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$$

$$P_Z = 2200 \cdot 8 \cdot 0.14 = 2464 \text{ N}$$

שיקוע

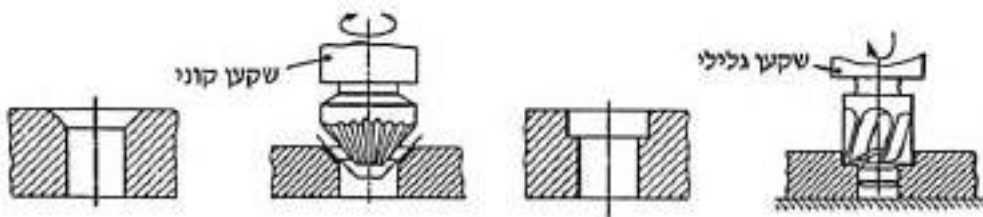
שקען כלי חיתוך המשמש להכנת שקעים גליליים או קוניים בקדחים קיימים.

שיקוע – תהליך קידוח היוצר שטחים צורתיים וקוניים בקדחים קיימים.



השקענים מיועדים לבצע כמה פעולות וצורות כגון:

- הורדת קנובה (גרדים)
- הכנת מדר (פאזה) בקדח קיים לייצור תבריג פנימי
- הכנת שקע לראשי ברגים (קוני וישר)
- יישור שטח בניצב לקדח הקיים.

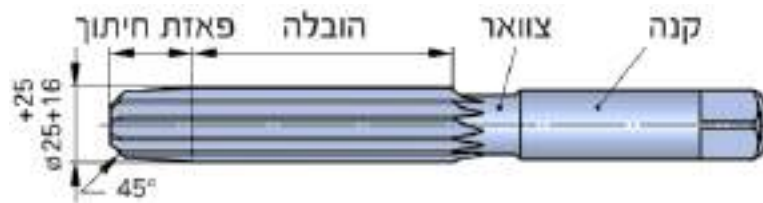


בהשוואה למקדחים לכלי השיקוע זווית שחרור קטנה יותר ומשטח שחרור גדול יותר. הדבר גורם לשקען "להישען" על שטח החיתוך ולמנוע סימני רטט.

קידוד

קידוד – פעולה לשיפור סבולת וטיב השטח של הקדח, המתקנת שגיאות של ישרות ואובליות, אך היא אינה מתקנת שגיאות מיקום וניצבות בקדח. מהירות החיתוך בקידוד היא כמחצית ממהירות החיתוך בקדיחה.

מקודד – כלי עגול בעל מספר שיניים זוגי. החלוקה של השיניים בהיקף המקודד לא סימטרית, כדי להבטיח שלא יהיו רעידות וכדי לקבל טיב פני שטח גבוה. תפקיד המקודד לייצר קדח במידה מדויקת וטיב שטח בדרגת דיוק גבוהה (max N2 – min N6).



קוטר הקדח הנדרש	0.8÷1.2	1.2÷1.6	1.6÷3.0	3.0÷6.0	6.0÷10.0	10.0÷18.0	18.0÷30.0	30.0÷50.0
תוספת החומר על הקוטר שיש להשאיר לקידוד	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5

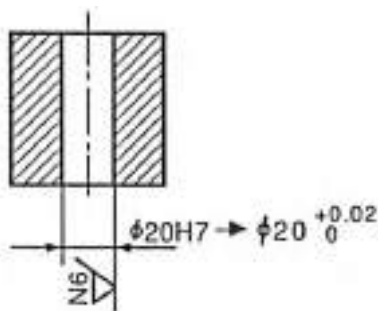
תוספת חומר בקדח לפעולת קידוד

תהליך ייצור בקידוד

הדרישה בשרטוט מחייבת שימוש בקידוח ובקידוד.

שלב א' – קידוח בשלבים עד לקוטר 19.6 (ראה טבלת תוספת חומר בקדח לפעולת הקידוד).

שלב ב' – קידוד למידה סופית באמצעות מקודד מתכוונן עד לקבלת טיב שטח N6.



הברזה

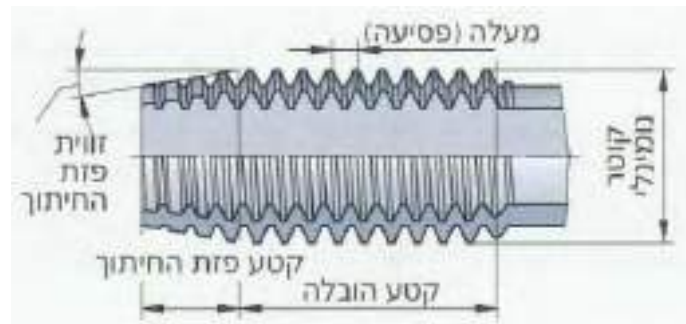
לחיתוך תבריגים פנימיים יש לקדוח תחילה את קדחי הגרעין.

$$d_1 = d - p$$

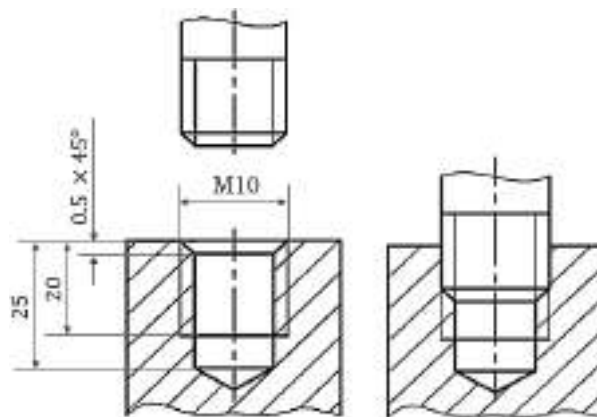
mm	d	קוטר חיצוני של הבורג (נומילי)
mm	p	פסיעת התבריג
mm	d_1	קוטר קנה בורג (קוטר פנימי)

אין לקדוח קדחי גרעין קטנים מהקוטר הנומילי הדבר מקל על ההברזה ומונע את שבירת המברזים.

המברז מבצע את תנועת החיתוך והקדמה נקבעת על-ידי מעלה התברג.



פזת החיתוך הקונית בקצה המברז מבצעת את השיבוב. על פי גודל זווית פזה זו, חיתוך התבריג מתבצע ל-ידי שתיים עד שמונה כריכות ראשונות של המברז. בעזרת שיקוע בכניסה לקדח הגרעין באמצעות שקען 90° משפרים את תחילת חיתוך המברז. עבור תבריגים שחותכים לתוך "קדח עיוור", קודחים קדחי גרעין שעומקם גדול יותר מאורך התבריג למניעת שבירת המברז.



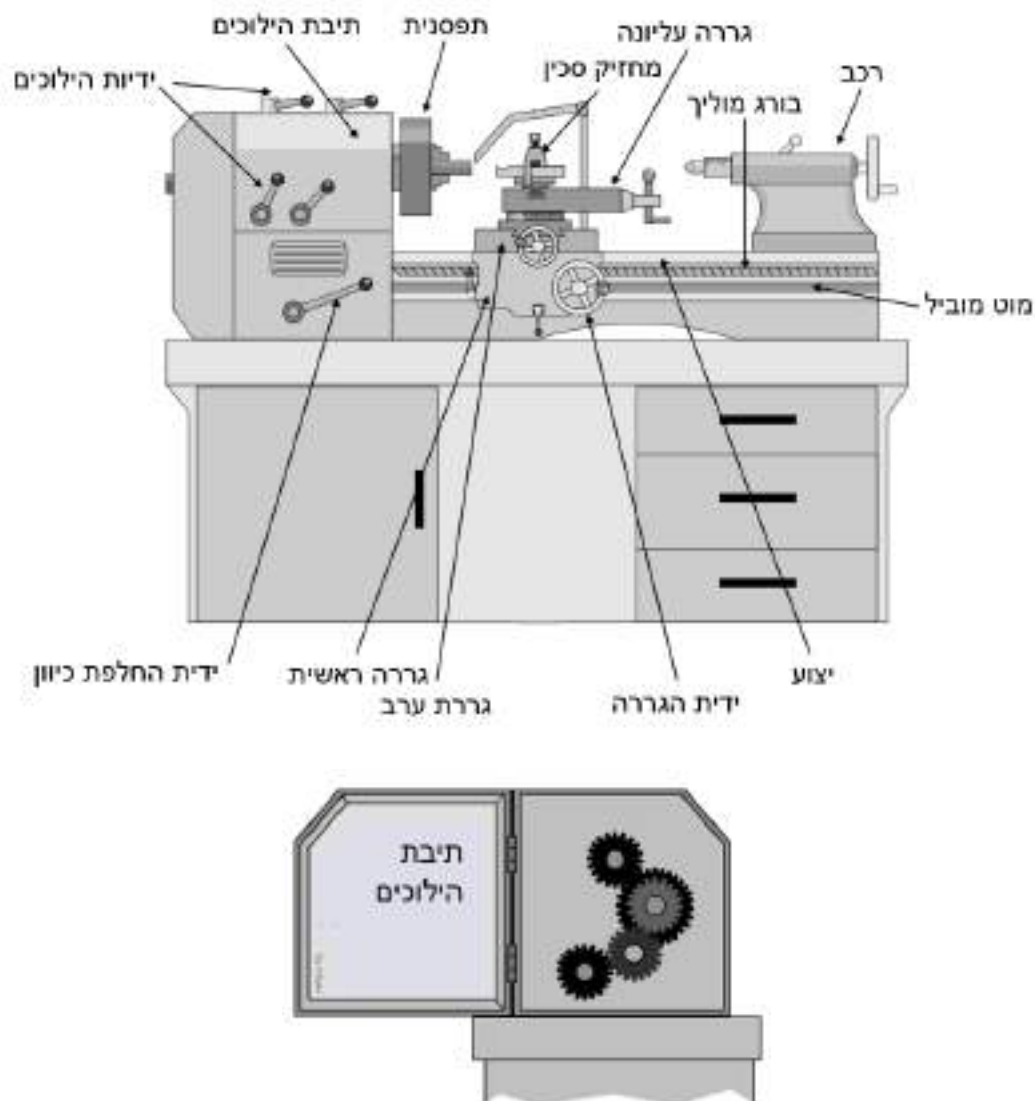
טבלה 11 – קטרי קדחי הכנה לתברגים פנימיים

M	תברג	קוטר קידוח חתך		ממ"מ BEST WIRE
		למבר חיתוך	למבר לחץ	
M 1	x 0.25	0.75	0.88	0.170
M 1.2	x 0.25	0.95	1.08	0.170
M 1.4	x 0.3	1.1	1.26	0.170
M 1.6	x 0.35	1.25	1.45	0.220
M 1.8	x 0.35	1.45	1.65	0.220
M 2	x 0.4	1.6	1.82	0.250
M 2.2	x 0.45	1.75	2.00	0.290
M 2.5	x 0.45	2.05	2.30	0.290
M 3	x 0.5	2.5	2.80	0.290
M 3.5	x 0.6	2.9	3.25	0.335
M 4	x 0.7	3.3	3.70	0.455
M 5	x 0.8	4.2	4.65	0.455
M 6	x 1	5.0	5.55	0.620
M 7	x 1	6.0	6.55	0.620
M 8	x 1.25	6.8	7.40	0.725
M 9	x 1.25	7.8	8.40	0.725
M 10	x 1.5	8.5	9.30	0.895
M 11	x 1.5	9.5	10.30	0.895
M 12	x 1.75	10.2	11.20	1.100
M 14	x 2	12.0	13.10	1.350
M 16	x 2	14.0	15.10	1.350
M 18	x 2.5	15.5	16.90	1.650
M 20	x 2.5	17.5	18.90	1.650
M 22	x 2.5	19.5	20.90	1.650
M 24	x 3	21.0	22.65	2.050
M 27	x 3	24.0		2.050
M 30	x 3.5	26.5		2.050
M 33	x 3.5	29.5		2.050
M 36	x 4	32.0		2.550
M 39	x 4	35.0		2.550
M 42	x 4.5	37.5		2.550
M 45	x 4.5	40.5		2.550
M 48	x 5	43.0		3.200
M 52	x 5	47.0		3.200
M 56	x 5.5	50.5		3.200
M 60	x 5.5	54.5		3.200
M 64	x 6	58.0		4.000
M 68	x 6	62.0		4.000

22. חריטה (Turning)

בפעולת החריטה מבצעים עיבוד שבבי של גופים סיבוביים: גליל, חרוט, כדור. החריטה מבוצעת בעזרת כלי חיתוך (סכין חריטה) המבצע תנועת קידמה והיגש ומצוי במגע מתמיד עם החומר המעובד המבצע תנועה סיבובית. בין כלי החיתוך ובין החומר המעובד יש תנועה הדדית (יחסית).

מחרטה



אמצעי דפינה ותמיכה



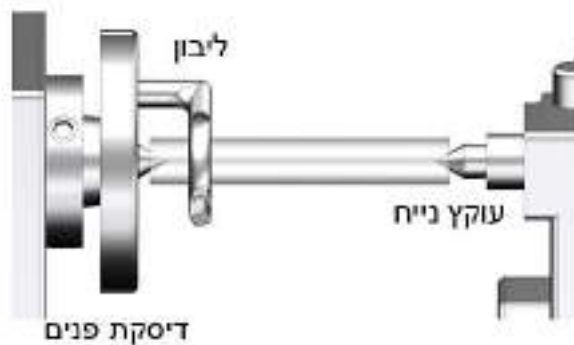
דיסקת פנים
דפינת עובדים מיוחדים



תפסנית 4 לחיים
דפינת חלקים שאינם עגולים



תפסנית מרכז 3 לחיים
דפינת חלקים גליליים



משענת ניחת



משענת ניידת

זוויות כלי החיתוך

זווית השחרור – α

נמדדת בין פאת השחרור (משטח המונע חיכוך בין כלי החיתוך והחומר המעובד) והמשיק לשטח העובד.

זווית הטריז (חוד) – β

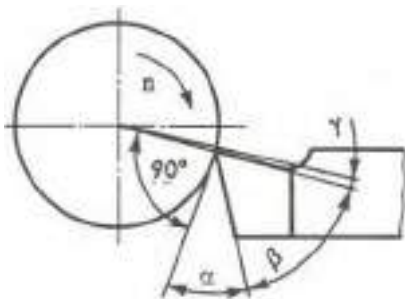
יוצרת שפת חיתוך ראשית החודרת לתוך החומר המעובד בכיוון הקידמה. זו הזווית המתקבלת מהשחזת הזוויות α ו- γ . גודל הזווית נקבע לפי סוג החומר המעובד ולפי סוג חומר כלי החיתוך.

זווית השיבוב – γ

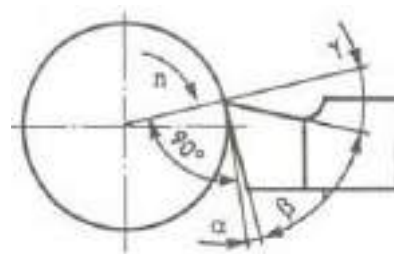
נמדדת בין פאב השיבוב (המשטח עליו מחליק השבב) והניצב למשטח המעובד. זוהי הזווית החשובה ביותר בטריז החיתוך, מכיוון שהיא משפיעה על יצירת השבב, אורך חיי הכלי וכוחות החיתוך.

* על מנת לקבל טיב פני שטח טוב בחריטה, יש לשאוף ליצירת שבבי זרימה.

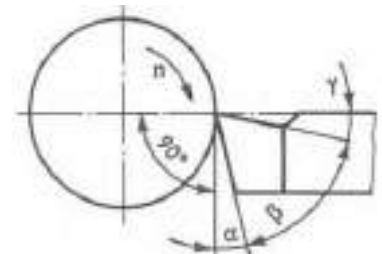
למיקומו של כלי החיתוך ביחס לציר העובד יש השפעה על זוויות α ו- γ



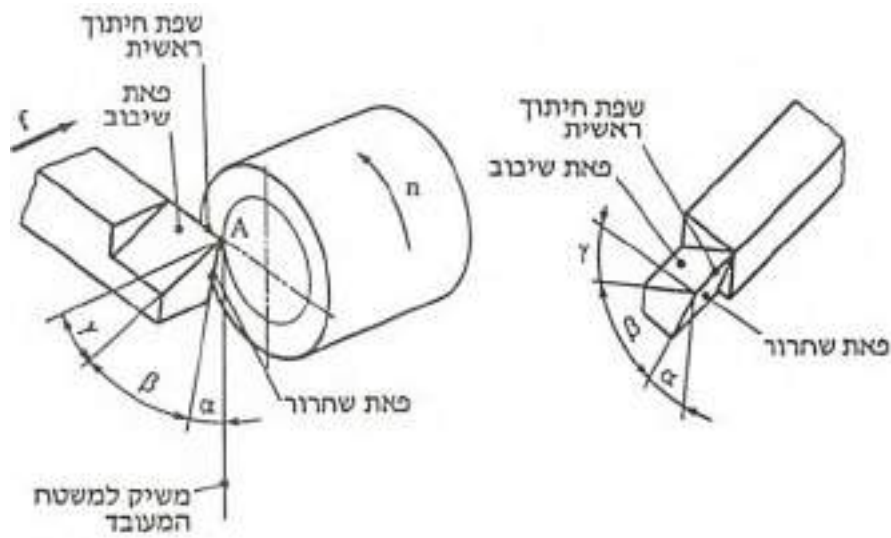
זרימת שבב קשה והחומר נוטה
"לעלות" על פאת השיבוב ולגרום
לשבירת הכלי או שחרורו מהתפסנית.
זווית השחרור גדלה ואינה תורמת.



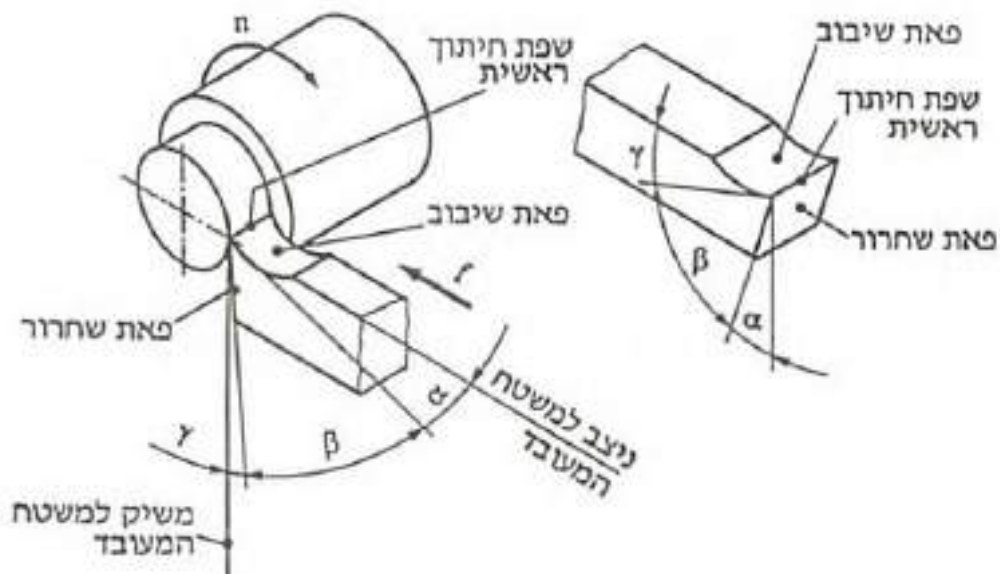
כלי החיתוך עלול להתחכך עם
החומר המעובד להתחמם
ולהישרף.



אין שינוי בזוויות
זרימת שבב טובה מאוד



כלי חיתוך לחריטה חיצונית



כלי חיתוך לגידוע וחירוף

חומרים עבור סכיני חריטה

פלדה מהירה (H,S,S) בעלת צפידות גבוהה, עמידות בלאי טובה וקשיות גבוהה. ניתנים לציפוי בחומר מקטין בלאי לרוב טיטניום ניטריד (TiN), היוצר שכבה קשה מאוד ועמידה בפני בלאי וחום.

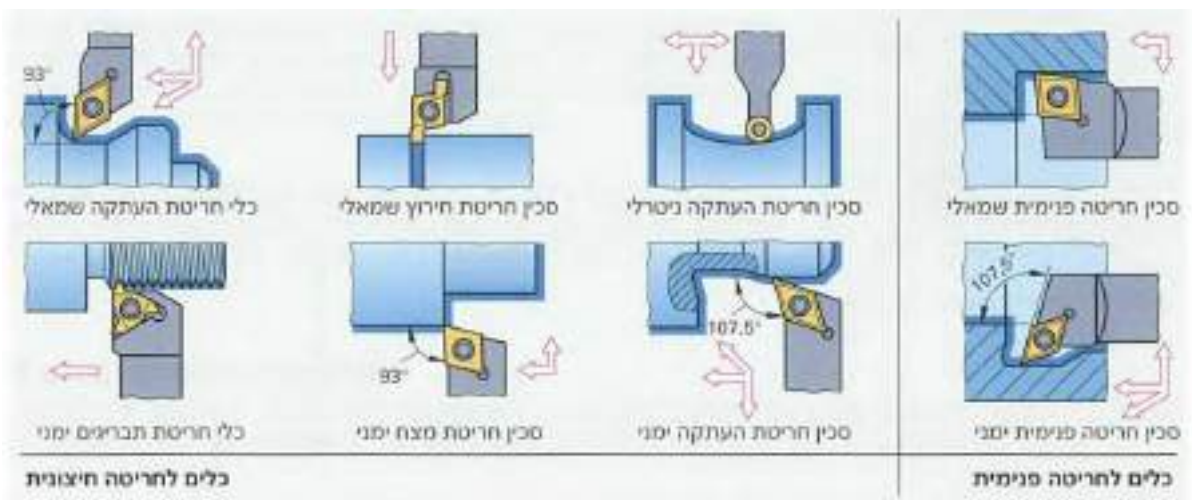
ניתנים לשימוש במרבית החומרים

טיב שטח טוב



אורך חיי כלי ארוכים במהירויות חיתוך וקידמה גבוהות

לוחיות מתק"ש – בסכין זה הלוחיות מולחמות או מחוברות באופן מכני לקנה העשוי פלדת פחמן.



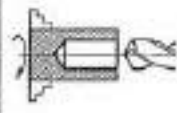
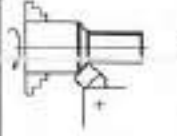
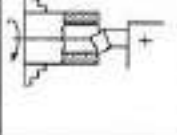
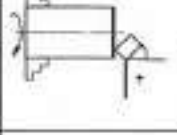
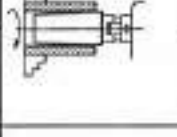
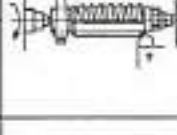
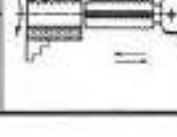
סכין חריטה
עם שימת
מתק"ש

שפה נבנית

במהירות חיתוך נמוכה עשויים להידבק חלקיקי מתכת על פאת השיבוב ועל פאת השחרור הגורמים לבניית שפות מלאכותיות בכלי החיתוך ולהעלאת כוחות החיתוך ולפגיעה בכלי.



דיוק בפעולת חריטה

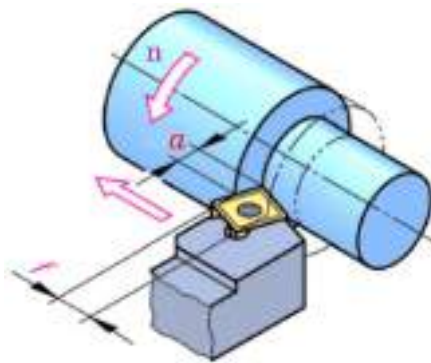
תקן ישראלי מס' 780 (ISO)									סיב עיבוד בחריטה		
N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9			
										עד 15	קידוח
										מעל 15	
										עיבוד רגיל	חריטה חיצונית
										עיבוד עדין	
										עיבוד רגיל	חריטה פנימית
										עיבוד עדין	
										עיבוד רגיל	חריטה מצחית
										עיבוד עדין	
										עיבוד רגיל	קידוד
										עיבוד עדין	
										מחרוקת	הברגה חיצונית
										סכין	
										מברז	הברגה פנימית
										סכין	

תנועות בפעולת החריטה

תנועה ראשית – תנועה סיבובית (חיתוך) של העובד, הגורמת לסיבוב החומר המעובד סביב ציר המחרטה. מתקבלת לאחר בחירת מהירות החיתוך (v_c) מתוך טבלאות ומידיעת קוטר החומר D.

n תנועה ראשית סיבובית – תנועת החיתוך rpm

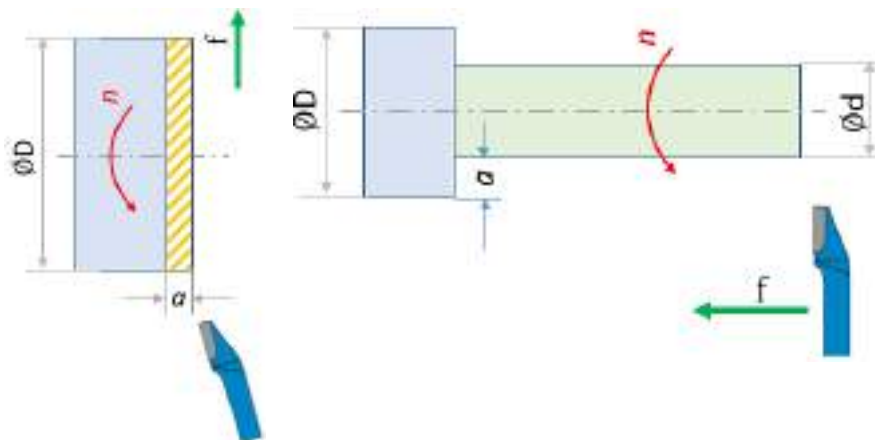
תנועת קידמה – תנועה קווית רצופה של סכין החריטה לאורך משטח הטעון עיבוד במהלך סיבוב אחד של העובד. שינוי מספר סיבובי העובד בדקה יגרום לשינוי הקידמה.



$f (f_{rev})$ קידמה סיבובית $\frac{mm}{rev}$

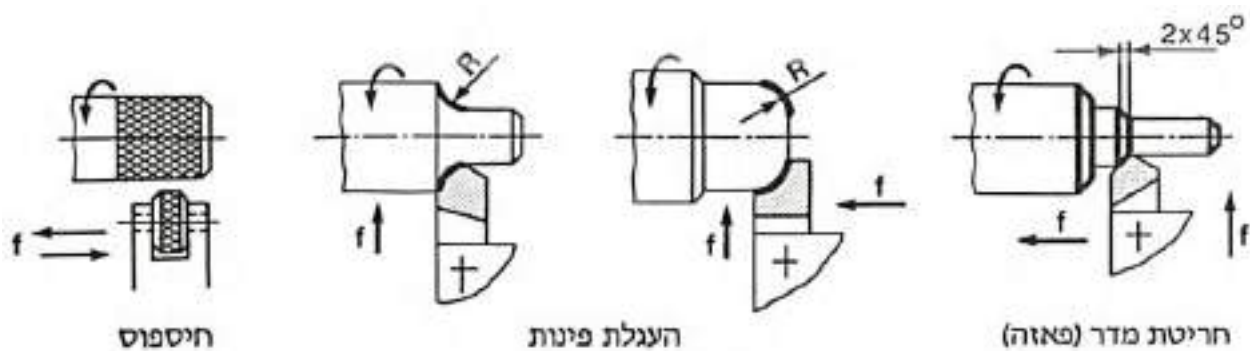
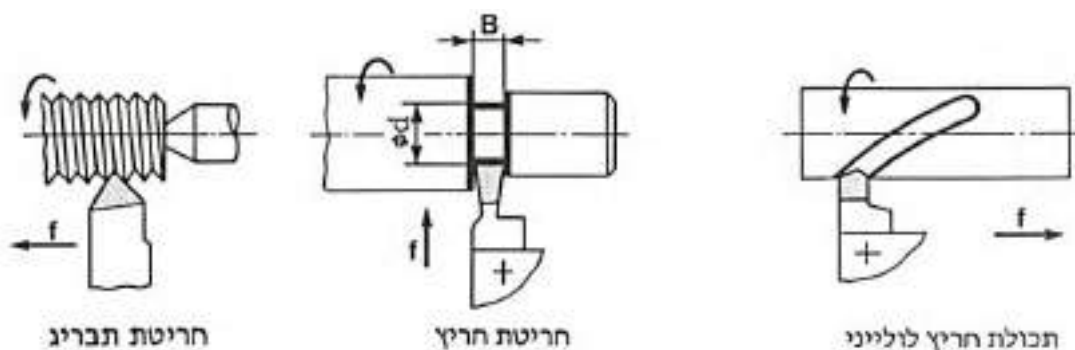
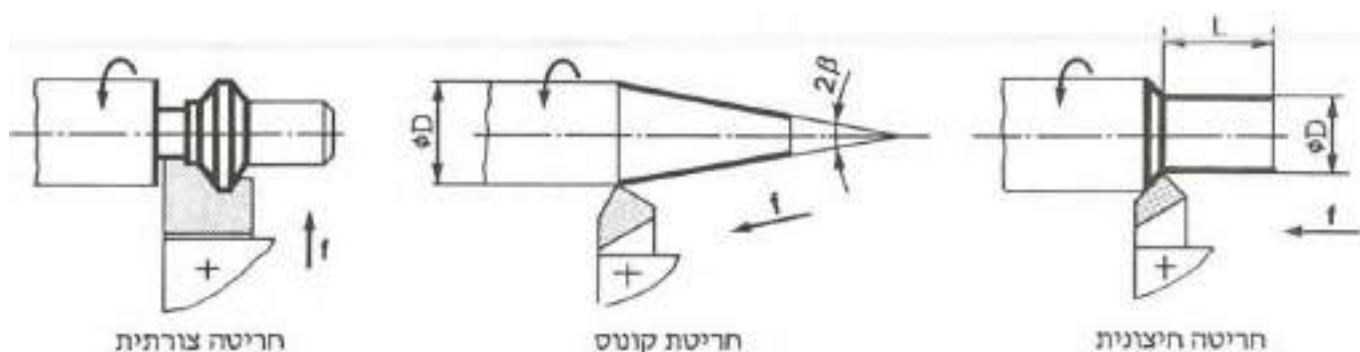
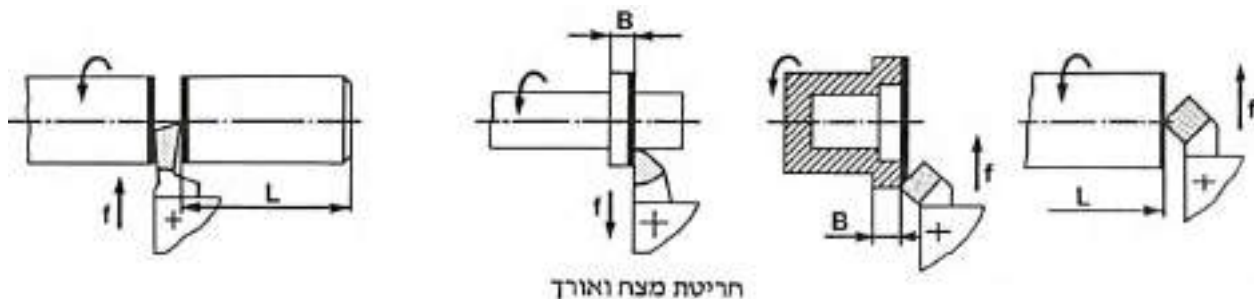
היגש – תנועה קווית הקובעת את עומק השבב שכלי החיתוך חודר לחומר המעובד.

a תנועת היגש – רוחב השבב $^{95} mm$



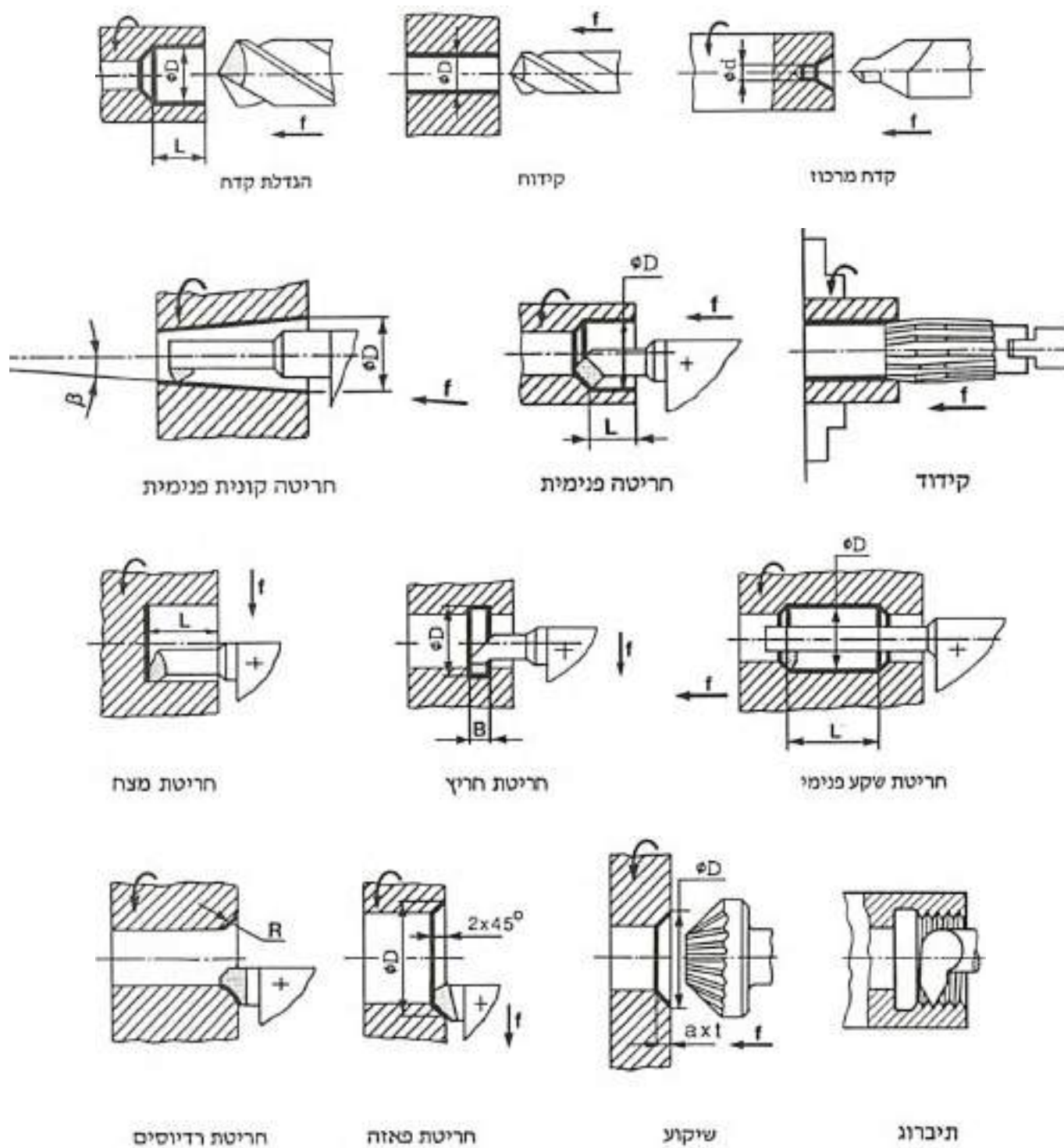
⁹⁵ בחריטת אורך בכל פעולה יורד חומר במידה 2a

פעולות בחריטה חיצונית
(מודגשות בקו עבה)



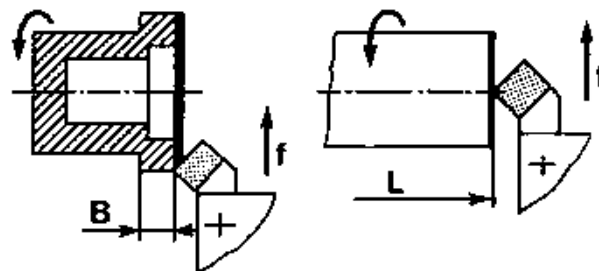
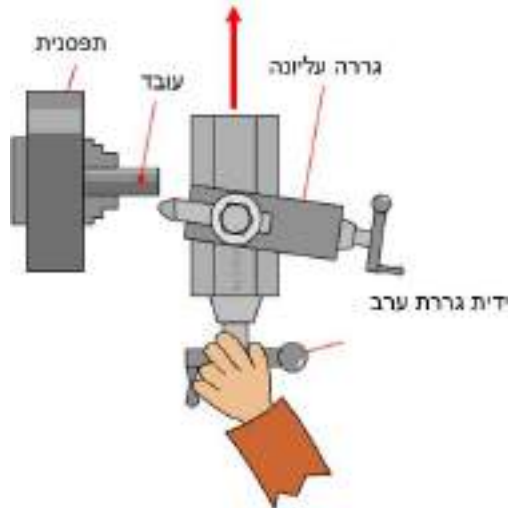
פעולות חריטה פנימית

(מודגשות בקו עבה)



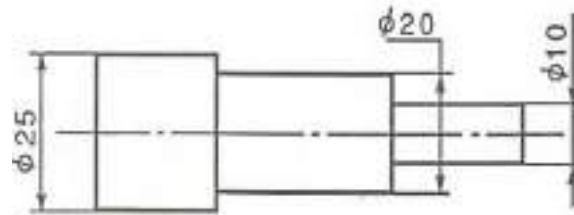
חריטת מצח (Facing Turning)

- כלי החיתוך נע **בניצב** (רדיאלית) לחומר הגלם ומסיר שכבה דקה של חומר מהקצה.
- נוצר משטח מישורי הניצב לציר סיבוב העובד.
- פעולה זו מיועדת ליישור קצוות חומר הגלם, שומרת על קוטר החלק ומקטינה את אורכו.

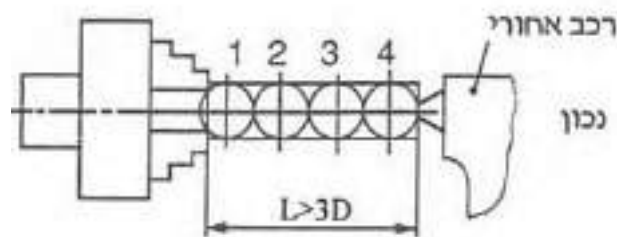


חריטה גלילית – אורכית (Straight Turning cutting)

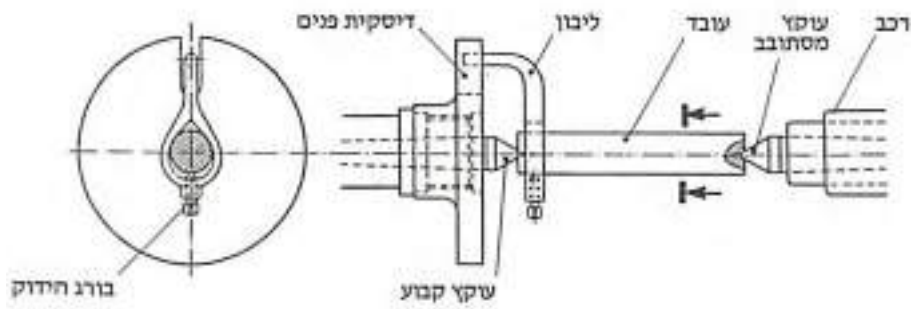
- כלי החיתוך נע לאורך החומר המעובד ומסיר ממנו שכבות חומר (נוצרות מדרגות) שכל אחת מהן בעובי 2a (פעמיים היגש).
- שומרים על אורך החלק ומקטינים את קוטרו.
- ליצירת קוטר רצוי מבצעים לרוב מספר חיתוכים (מעברים) כאשר בכל חיתוך הסכין נכנסת עמוק יותר לחומר הגלם.



קביעת אופן הדפינה בחריטה מתבצעת על פי יחס אורך לקוטר עובד



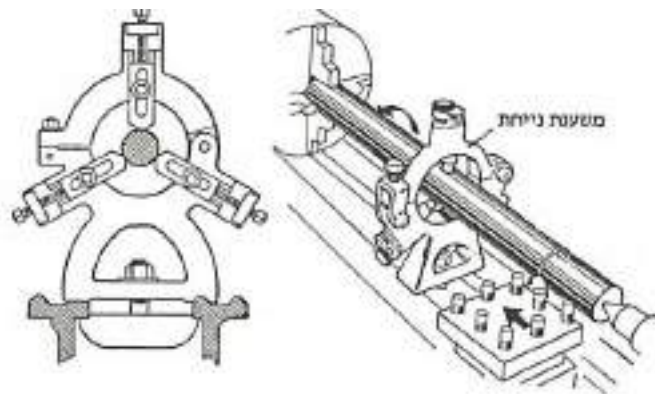
גליל קצר	גליל ארוך	גליל ארוך מאוד	יחס
$\frac{L}{d} < 3$		$\frac{L}{d} > 10$	יחס
דפינה בתפסנית	דפינה בין עוקצים רכב אחורי נכון תפסנית + עוקץ	דפינה ביו עוקצים ומשענת נגדית	שיטת דפינה



הידוק בין עוקצים הוא אחת משיטות הדפינה לשמירה על מרכזיותם של משטחי החלק, גם כאשר הוא מועבר לעיבודים אחרים או מוחזר לעיבוד נוס, בחריטה. השימוש בשיטה מחייב קדחי מרכז.

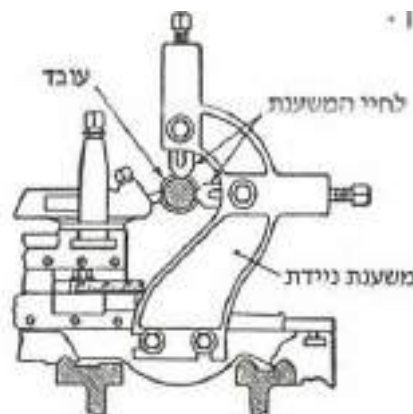
שימוש במשענת ניחת

המשענת מחוברת ליצוע ואינה זזה. יש להיעזר בה גם כאשר יש לקדוח קדח בחלק בולט מאוד מהכוש.

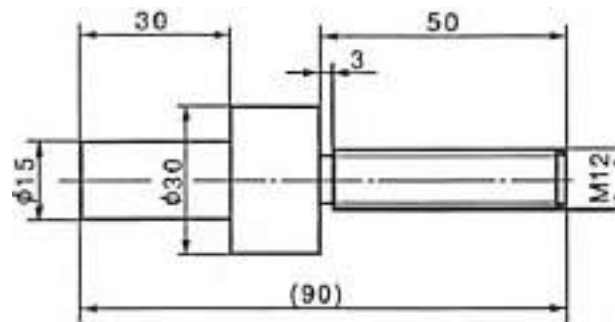


שימוש במשענת ניידת

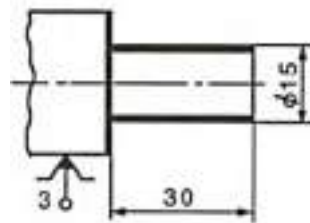
המשענת מחוברת לגררה התחתונה ונעה יחד אתה, כך שתמיד יש משענת ממול הכוח שמפעיל כלי החיתוך.



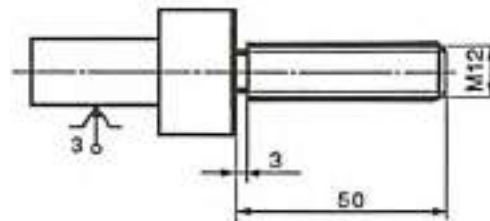
יש מקרים בהם נדרש לחרוט עובד כאשר אינו נדפן בצידו השני עקב היותו קוני או נושא תבריג.



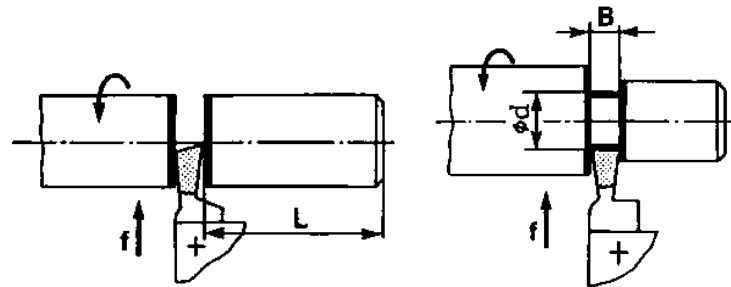
דפינה 1



דפינה 2

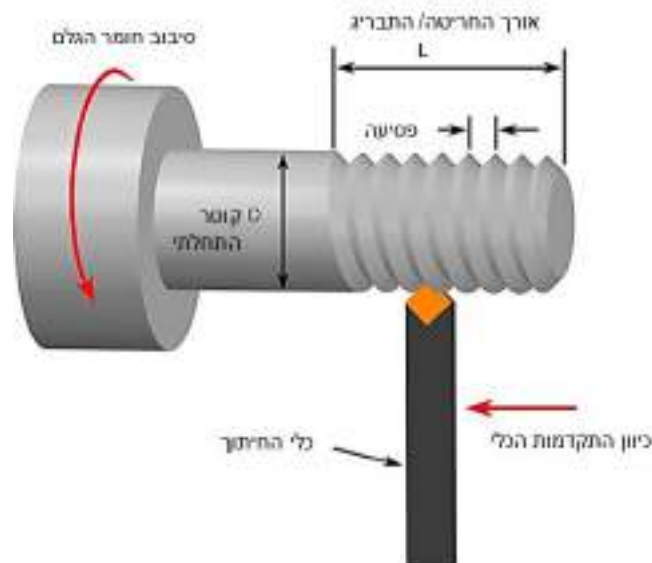


גידוע (Cut-off Turning), חירוף (Grooving Turning)



- בפעולת גידוע סכין החיתוך חותכת את החומר לשני חלקים. הסכין נכנסת בצורה רדיאלית לתוך חומר הגלם עד למרכזו וכך החומר נחצה לשני חלקים.
- בחריטת חירוף סכין החיתוך חודרת בניצב לחומר (רדיאלית) ויוצרת מגרעת שרוחבה שווה לרוחב סכין החיתוך.

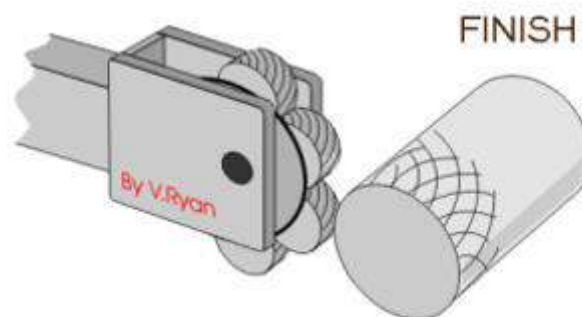
חריטת תבריג חיצוני (Thread Turning)



- בחריטת תבריג סכין החיתוך חודרת מעט אל החומר ונעה לאורך חומר הגלם.
- פעולת החיתוך של תבריג מתבצעת במספר פעמים כאשר בכל פעם הסכין נכנסת מעט עמוק יותר עד הגעה לקוטר הפנימי של התבריג.
- יש לחרוט את קטע בתבריג למידת קוטר הגדולה בכמה עשיריות מהקוטר החיצוני של התבריג.
- קידמת הסכין שווה לפסיעת התבריג (הדרך שעושה הבורג בסיבוב אחד שלם).

חספוס – (Knurling) Roughing

- בפעולת חספוס כלי החיתוך מבצע חריצות קטנות בפני השטח של חומר הגלם.
- החספוס יכול להיווצר בצורות רבות (קווים ישרים, קווים אלכסוניים, שתי-וערב, בליטות נקודתיות ועוד).



חספוס קווי מלוכסן



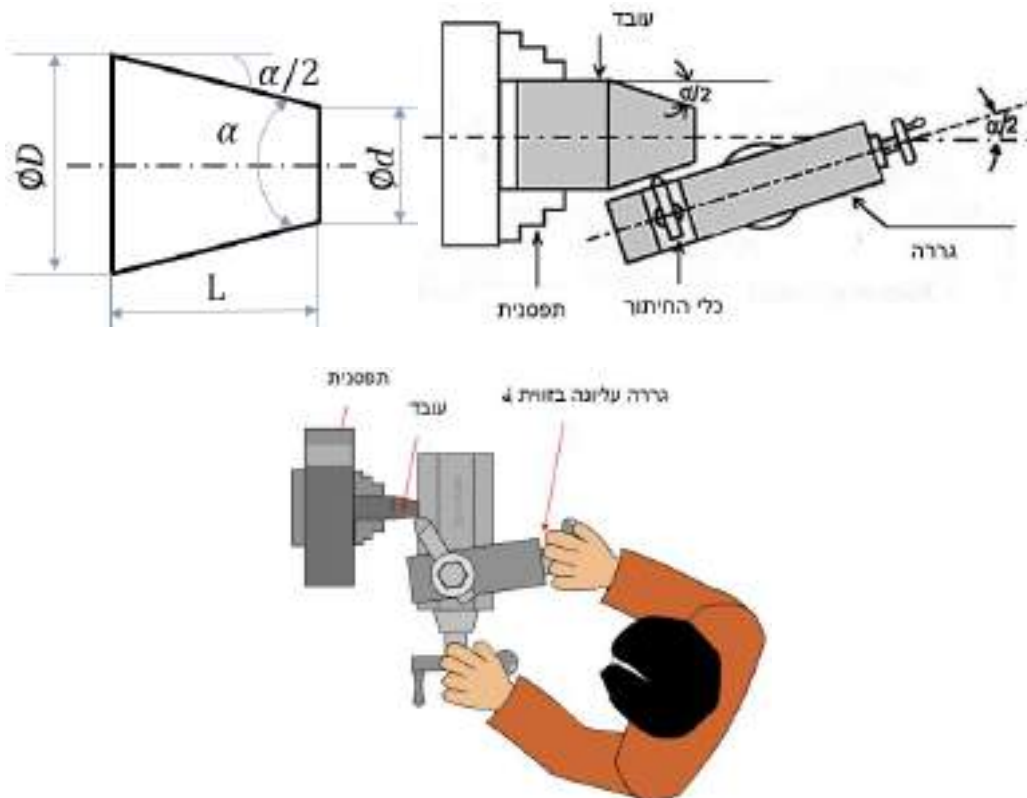
חספוס שתי
וערב



חספוס קווים
ישרים

חריטת קונוס

הטיית הגררה העליונה



קוביות:

$$C = \frac{D - d}{L}$$

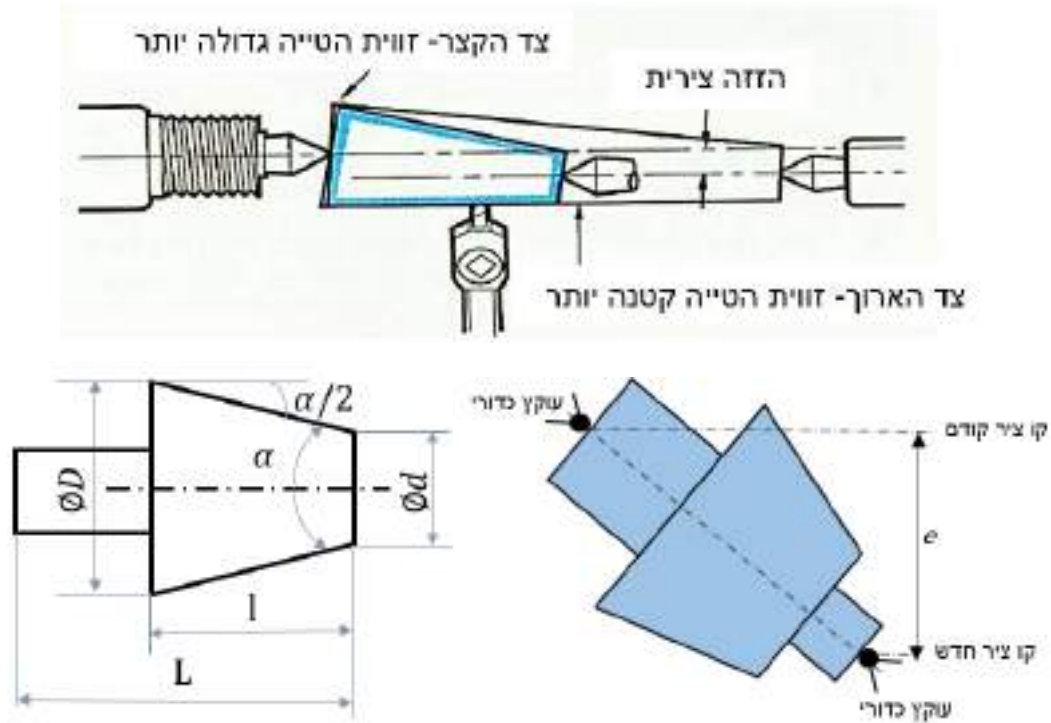
זווית נטיית גררה

$$\frac{\alpha}{2} = \tan^{-1} \left(\frac{D - d}{2 \cdot L} \right)$$

°	זווית נטייה	$\frac{\alpha}{2}$
mm	קוטר קטן	d
mm	קוטר גדול	D
mm	אורך הקונוס	L
	קוביות	C

הזזת הרכב האחורי

מבוצע רק על קונוסים ארוכים בעלי זווית נטייה קטנה



מידת הזזת הרכב:

$$e = \frac{C}{2} \cdot L = \frac{D - d}{2} \cdot \frac{l}{L}$$

mm
mm
mm
mm
mm

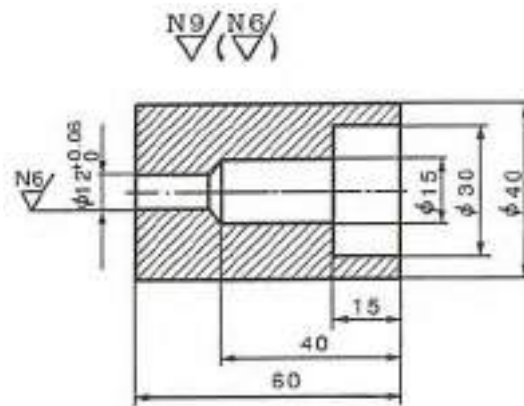
e מידת הטיית הרכב
 d קוטר קטן
 D קוטר גדול
 l אורך הקונוס
 L אורך החלק
 C קוניות

בדיקת מעשיות

$$e \leq \frac{L}{50}$$

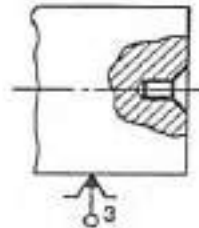
קידוח

קדחים המצויים לאורך ציר גליל קודחים במחרטה בשלבים

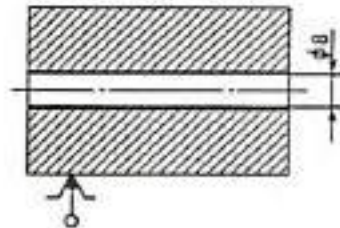


חומר גלם: 40×60
סבולת כללית ± 0.1

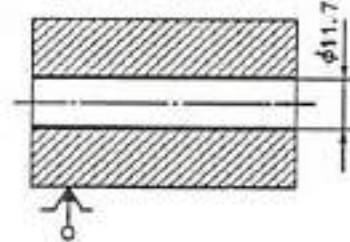
א. קדחת קדח מרכז



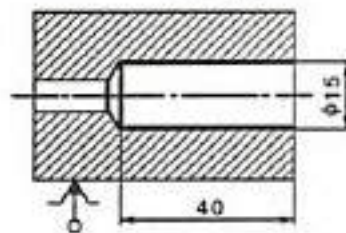
ב. קדחת ראשית



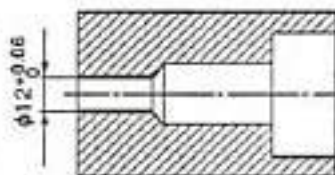
ג. קדחת (לפני קידוד)



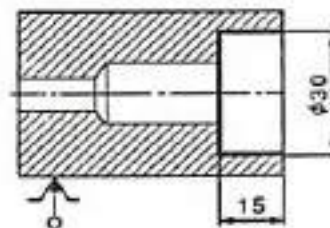
ד. קדחת



ה. קידוד

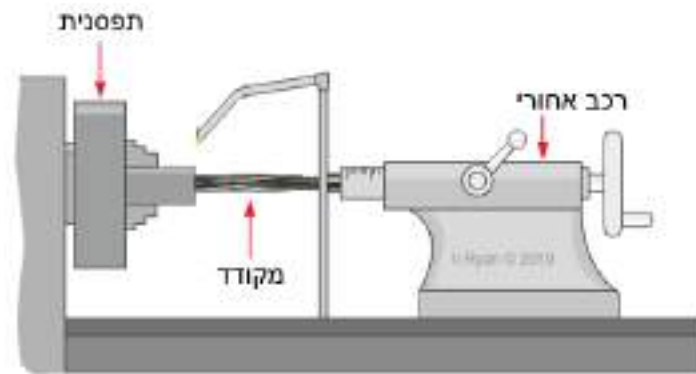


ו. חריטה פנימית



קידוד (Reaming)

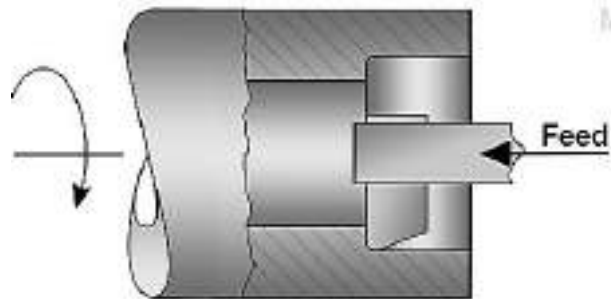
חשוב לזכור: מקדד לא יוצר קדחים (מקדח עושה זאת) אלא מגדיל מעט קדחים קיימים.



- בפעולת הקידוד, מקדד חודר אל קדח קיים בחומר גלם ומסיר חומר מועט (עד 0.5 מ"מ).
- במקדד משתמשים על מנת להשיג דיוקים טובים יותר של קדח והסרת החומר היא קטנה.

חריטה פנימית אורכית (Borning)

- בפעולת חריטה פנימית אורכית, סכין החיתוך נכנסת אל הקוטר הפנימי של חומר הגלם ונעה לאורך חומר הגלם ומסיר ממנו חומר לשם יצירת מדרגות, קונוס, פרופילים משתנים.
- ליצירת קוטר הרצוי מבצעים לרב מספר חיתוכים כאשר בכל חיתוך הסכין נכנסת עמוק יותר לחומר הגלם.



הברזה פנימית (Tapping)

ביצוע באמצעות מברז

בפעולת הברזה פנימית, כלי החיתוך (מברז) חודר אל קדח מוכן בעובד.

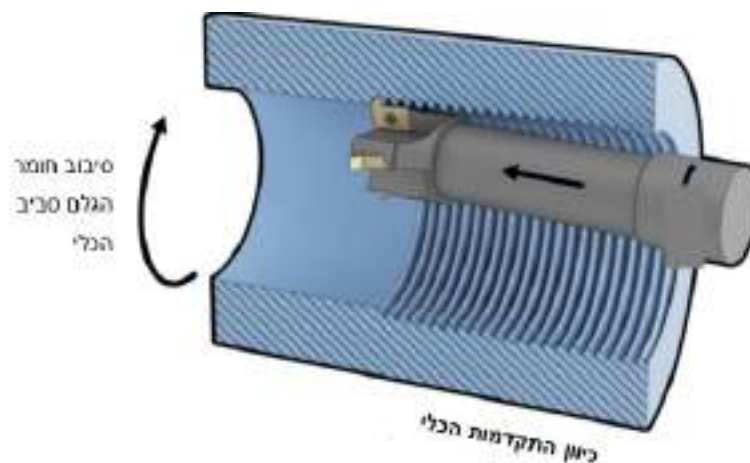
יש להכין קדח שקוטרו

$$d_1 = d - p$$

mm	קוטר חיצוני של הבורג (נומינלי)	d
mm	פסיעת התברג	p
mm	קוטר קנה בורג (קוטר פנימי)	d_1

ראה טבלה 11

חריטת תברג (Cutting Thread Internal)



חישובים בחריטה

מהירות סיבוב

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D}$$

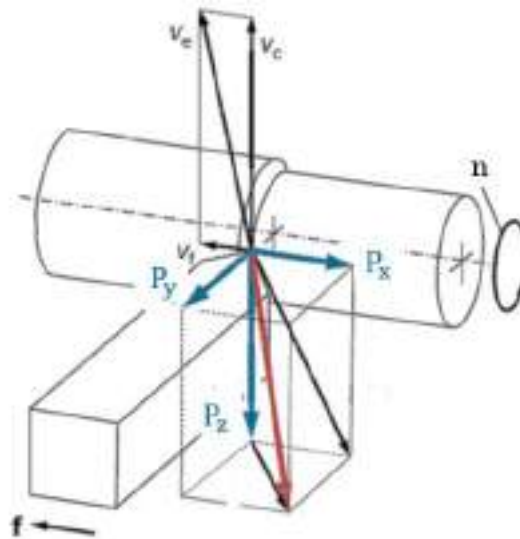
v_c	מהירות חיתוך (מהירות הקפית)	$\frac{m}{min}$
n	מהירות סיבוב כוש המחרטה	rpm
D	קוטר העובד	mm

מספר מעברים

$$i = \frac{D - d}{2a}$$

i	מספר מעברים – כמה פעמים יש לעבור עם הסכין עד שמגיעים למידה הדרושה	
D	קוטר העובד	mm
d	הקוטר הנדרש לאחר החריטה	mm
a	היגש	mm

כוחות חיתוך



כוח החיתוך – P מורכב משלושה רכיבים:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}$$

P_z כוח משיקי הגורם להפרדות השבב מהחומר המעובד. N
 P_x כוח צירי, מבטא את התנגדות החומר לתנועת הקידמה של הכלי N
 P_y כוח צירי, מבטא את התנגדות החומר לתנועת ההיגש של הכלי N

$$P_z = K_S \cdot a \cdot f$$

P_z רכיב משיקי של כוח החיתוך N
 k_S התנגדות סגולית בקדיחה (נתון) MPa
 a היגש mm
 f קידמה סיבובית $\frac{\text{mm}}{\text{rev}}$

הכוחות P_x ו- P_y גורמים לכפיפת כלי החיתוך וניתן לחשבם מנוסחאות מקורבות:

$$P_x = 0.3 \cdot P_z$$

$$P_y = 0.5 \cdot P_z$$

מומנט סיבוב דרוש לסיבוב העובד

$$M_t = \frac{H \cdot 9.55 \cdot 10^6 \cdot \eta}{n}$$

kW	הספק ⁹⁶	H
Nmm	מומנט סיבוב	M_t
rpm	מהירות סיבוב כוש המחרטה	n
	נצילות מחרטה	η
$\eta = 0.7 - 0.8$ הנח: לא נתון,		

הספק דרוש לביצוע חריטה

$$H = \frac{M_t \cdot n}{9.55 \cdot 10^6 \cdot \eta} = \frac{P_z \cdot v_c}{1000 \cdot 60 \cdot \eta}$$

kW	הספק	H
Nmm	מומנט סיבוב	M_t
rpm	מהירות סיבוב כוש המחרטה	n
	נצילות מחרטה	η
$\eta = 0.7 - 0.8$ הנח: לא נתון,		
$\frac{m}{min}$	מהירות חיתוך (מהירות הקפית)	v_c

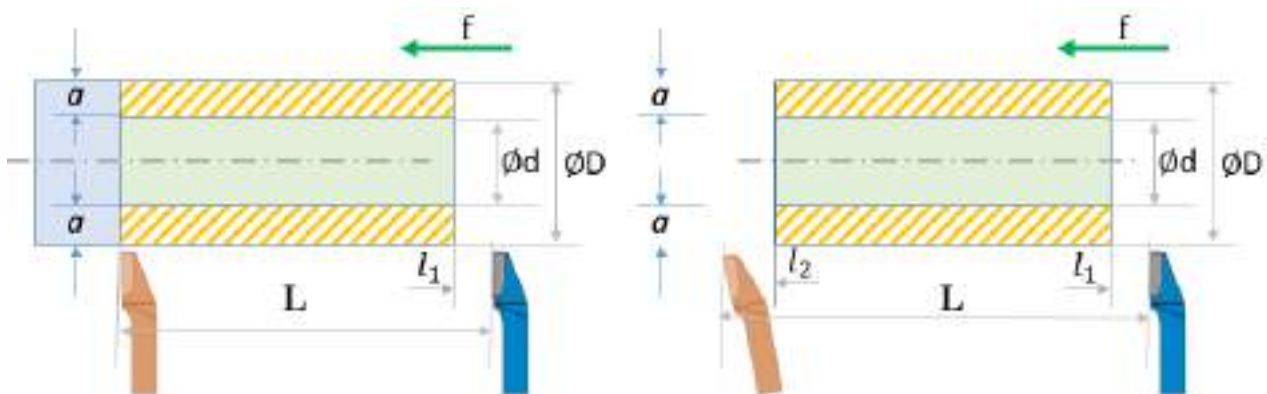
⁹⁶ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) או באות N לסימון המושג **הספק** הוא יחליף את השימוש באות H.

זמן חריטה

$$t = \frac{L \cdot i}{f \cdot n} = \frac{L \cdot i}{v_f}$$

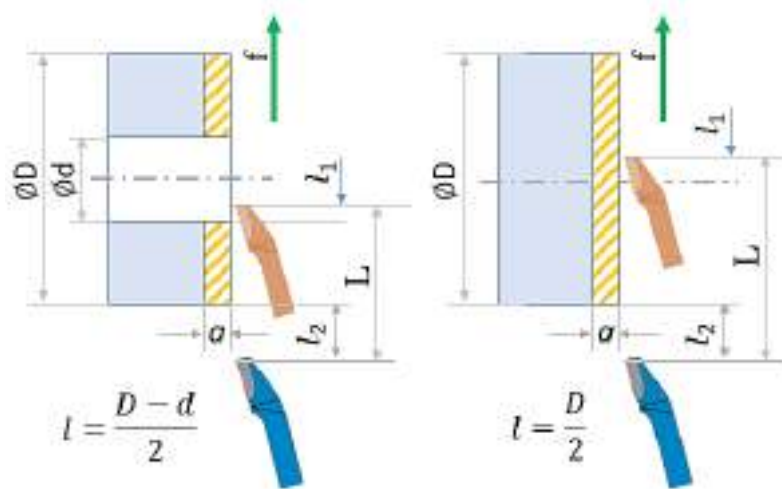
min	t זמן חריטה ישיר
mm	L עומק חריטה - הדרך שעושה הסכין בזמן העיבוד
	i מספר מעברים – כמה פעמים יש לעבור עם הסכין עד שמגיעים למידה הדרושה
rpm	n מהירות סיבוב המקדח
mm	f קידמה סיבובית
rev	
mm	v _f קידמה קווית
min	

חריטה גלילית



mm	l_1, l_2 מהלכי סרק כניסה/יציאה
	לא נתון הנח: 2 mm
mm	L עומק חריטה - הדרך שעושה הסכין בזמן העיבוד
mm	D קוטר עובד
mm	d קוטר לאחר חריטה

חריטת מצח



mm	מהלכי סרק כניסה/יציאה	l_1, l_2
	לא נתון הנח:	2 mm
mm	עומק חריטה - הדרך שעושה	L
mm	קוטר עובד	D
mm	קוטר קדח	d

טבלה 11 – תנאי שיכוב כלליים בחריטה

מהירויות חיתוך מומלצות לקידמות נפוצות					חומר העובד
$f = 0.8$	$f = 0.4$	$f = 0.2$	$f = 0.1$	חומר כלי	
25 – 35	35 – 45	50 – 60	55 – 65	H.S.S.	פלדות פחמניות קלות חיתוך
160 – 250	220 – 280	260 – 320	250 – 350	מתק"ש	
10 – 15	15 – 20	20 – 30	30 – 40	H.S.S.	פלדות פחמניות
100 – 120	120 – 140	160 – 180	200 – 220	מתק"ש	
5	5 – 10	10 – 15	15	H.S.S.	פלדות כלים
30 – 40	35 – 45	45 – 55	55 – 65	מתק"ש	
10 – 15	15 – 25	30 – 40	40 – 50	H.S.S.	ברזל יציקה
70 – 80	80 – 90	110 – 130	140 – 160	מתק"ש	
20 – 30	30 – 40	40 – 50	50 – 60	H.S.S.	אלומיניום ונתכי אלומיניום
25 – 35	35 – 45	50 – 60	55 – 65	מתק"ש	
100	150	200	280	מתק"ש	נחושת

$f_r \left[\frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right]$ קידמה

$v_c \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right]$ מהירות חיתוך

טבלה 12 – מהירויות חיתוך בחריטת פלדות בסכיני חריטה לפי סוג השימה וקידמה מומלצת.

סוג מתק"ש														הנתונים בטבלה עבור אורך חיים: t=15min	קטית	חומר עובד
IC656					IC365			IC825			IC805/IC848					
קצרת לסיבוב $f_c \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$																
2.0	1.2	1.0	0.5	0.25	1.0	0.5	0.25	1.0	0.5	0.25	1.0	0.5	0.25			
מחירות חיתוך $v_c \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right]$														HB 150	פלדות פחמן	
95	120	135	190	230	110	150	180	160	225	290	200	260	340			
80	100	115	155	190	90	120	150	135	195	240	175	250	290	HB 190		
60	70	95	140	170	80	110	135	115	170	215	150	220	275	HB 250		
60	70	95	140	170	80	110	135	115	170	215	165	240	310	HB < 200		
55	60	90	125	155	70	100	125	105	155	200	140	215	275	200 < HB < 275		
40	55	65	95	125	50	80	100	70	120	155	95	165	215	275 < HB < 325		
35	40	50	70	95	40	60	80	55	90	130	70	120	175	325 < HB < 375		
25	30	35	60	80	30	50	65	40	65	100	55	90	135	375 < HB < 425		
90	110	135	165	185	80	100	105	150	180	200	120	175	220	135 < HB < 175		
90	115	135	180	215	80	105	125	150	185	230	180	220	275	175 < HB < 225		
70	85	90	120	160	60	70	95	110	130	170	130	155	205	225 < HB < 325		
40	70	80	100	125	80	100	125	90	125	150	90	125	150	HB < 150		
35	50	65	80	100	65	80	100	70	90	115	70	90	115	150 < HB < 200		
								55	80	100	55	80	100	200 < HB < 250		

טבלה 13 – ערכים מנחים לעיבוד גס בחריטה (חריטת אורך וחריטה פנימית)

שימת מתק"ש מצופה					נתונים לגבי חומר העובד		
HC-P35		HP-P15					
$f_r \left[\frac{mm}{rev} \right]$ קידמה לסיבוב							
0.8	0.7	0.6	0.5	0.4			
$v_c \left[\frac{m}{min} \right]$ מהירויות חיתוך					קשיות	אחוז פחמן/חיסום	סוג הפלדה
200	225	310	340	365	90 <HB < 200	C=0.15%	לא מסוגסגת ולא מחוסמת
170	195	315	300	265	125 <HB < 225	C=0.35%	
160	185	265	300	315	150 <HB < 250	C=0.70%	
115	135	230	250	270	150 <HB < 260	לא מחוסמת	סיגסוג נמוך
65	75	120	135	155	220 <HB < 450	מחוסמת	
95	110	195	215	235	150 <HB < 250	לא מחוסמת	סיגסוג גבוה
50	60	110	115	120	250 <HB < 350	מחוסמת	

טבלה 14 – ערכים מנחים לעיבוד עדין בחריטה (חריטת אורך וחריטה פנימית)

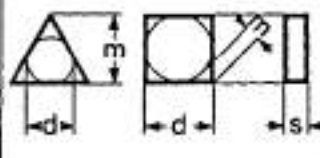
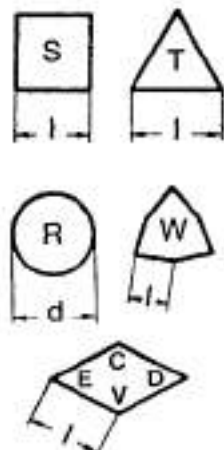
שימת מתק"ש מצופה				נתונים לגבי חומר העובד		
HC-P15		HC-P10				
קידמה לסיבוב $f_r \left[\frac{mm}{rev} \right]$						
0.2	0.1	0.2	0.1			
מהירויות חיתוך $v_c \left[\frac{m}{min} \right]$				קשיות	אחוז פחמן/חיסום	סוג הפלדה
355	415	355	440	90 < HB < 200	C=0.15%	לא מסוגסגת ולא מחוסמת
295	370	305	380	125 < HB < 225	C=0.35%	
270	320	290	355	150 < HB < 250	C=0.70%	
200	250	215	270	150 < HB < 260	לא מחוסמת	סיגסוג נמוך
110	140	120	155	220 < HB < 450	מחוסמת	
175	225	190	240	150 < HB < 250	לא מחוסמת	סיגסוג גבוה
90	110	100	125	250 < HB < 350	מחוסמת	

טבלה 15 – התנגדות סגולית לשיבוב בקדיחה $K_s \left[\frac{N}{mm^2} \right]$

קידמה (בחריטה ובקידוח) $f \left[\frac{mm}{rev} \right]$							המאמץ הגבולי	סוג המתכת
3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	$\sigma \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	
600	1,000	1,350	1,900	2,600	3,600	4,600	450	SAE 1113
600	1,000	1,350	1,900	2,600	3,600	4,600	400	SAE 1015
600	1,000	1,350	1,900	2,600	3,600	4,600	450	SAE 1020
700	1,000	1,500	2,100	2,900	4,000	5,500	500	SAE 1025
700	1,000	1,500	2,100	2,900	4,000	5,500	650	SAE 1040
850	1,100	1,600	2,300	3,150	4,400	6,000	700	SAE 1045
850	1,100	1,600	2,300	3,150	4,400	6,000	650	SAE 1060
950	1,200	1,700	2,400	3,300	4,600	6,500	700	SAE 1070
950	1,200	1,700	2,400	3,300	4,600	6,500	800	SAE 01
1,000	1,250	1,750	2,450	3,400	4,700	6,500	650	SAE 3115
1,250	1,500	2,000	2,750	3,800	5,300	5,900	1,200	SAE 4140
1,500	1,800	2,150	3,000	4,100	5,700	7,200	1,400	SAE 4340
500	800	1,080	1,500	2,080	2,900	3,900	–	יצקת אפורה

טבלה 16 – מפתח לזיהוי שימות חריטה

מפתח לזיהוי שימות חריטה

1 צורה הנרסית	3 דרגת הדיוק	5 גודל הצלע בשימה	7 רדיוס פינה																				
R ○ עגול S □ מחובע T △ משולש C ◇ מעוקן 80° D ◇ מעוקן 55° E ◇ מעוקן 75° V ◇ מעוקן 35° W △ סרונן 80°	 <table border="1"> <thead> <tr> <th></th><th>m</th><th>s</th><th>d</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E</td><td>±0.025</td><td>±0.025</td><td>±0.025</td></tr> <tr> <td>G</td><td>±0.025</td><td>±0.13</td><td>±0.025</td></tr> <tr> <td>M</td><td>מ ±0.08° עד ±0.18°</td><td>±0.13</td><td>מ ±0.05° עד ±0.13°</td></tr> <tr> <td>U</td><td>מ ±0.13° עד ±0.38°</td><td>±0.13</td><td>מ ±0.08° עד ±0.25°</td></tr> </tbody> </table> * סבולות במ"מ לפי מידות שונות של קוטר d, וזה בטבלה למטה.		m	s	d	E	±0.025	±0.025	±0.025	G	±0.025	±0.13	±0.025	M	מ ±0.08° עד ±0.18°	±0.13	מ ±0.05° עד ±0.13°	U	מ ±0.13° עד ±0.38°	±0.13	מ ±0.08° עד ±0.25°		 המידה נתונה ביחידות נטמ"מ למשל: R = 0.8
	m	s	d																				
E	±0.025	±0.025	±0.025																				
G	±0.025	±0.13	±0.025																				
M	מ ±0.08° עד ±0.18°	±0.13	מ ±0.05° עד ±0.13°																				
U	מ ±0.13° עד ±0.38°	±0.13	מ ±0.08° עד ±0.25°																				

T N M G 16 04 08 E 21

1 2 3 4 5 6 7 8 9

טבלה 16 המשך מעמוד קודם

2 זווית השחרור  α C: $\alpha = 7^\circ$ N: $\alpha = 0^\circ$ P: $\alpha = 11^\circ$	4 סוג השימה והדפינה ללא קדח וללא מעצב שבבים עם קדח גלילי וללא מעצב שבבים עם קדח גלילי ומעצב שבבים זה צדדי עם קדח גלילי ומעצב שבבים זה צדדי ללא קדח עם מעצב שבבים זה צדדי ללא קדח עם מעצב שבבים זה צדדי עם קדח, שקע ומעצב שבבים זה צדדי נטיב/מחזיב חד צדדי עם קדח נטיב/מחזיב זה צדדי עם קדח עם קדח ושקע (ימס-40°) ללא מעצב שבבים עם קדח ושקע (ימס-40°) ללא מעצב שבבים עם קדח ומעצב שבבים מוטטה זה צדדי זה כונו עם קדח, ושקע זה צדדי (ימס-40°) מחזיב/חד צדדי עם מעצב שבבים קדח ושקע (ימס-40°) מיוחד N A G M R F C S P T W Z B H X	6 עובי השימה  S 02 = 2.38 03 = 3.18 04 = 4.76 06 = 6.35 07 = 7.94 09 = 9.52	8 מצב השפה החותכת F חדה E מעוגלת T פאזה נגטיבית RF מעצב שבבים עדין ימני LF מעצב שבבים עדין שמאלי	9 סמול לצורת מעצב השבבים מחיקה CERMET G-15 12 41 14 45 16 48 19 28 21 TR/TL FR/FL הסמל מופיע רק בחלק השימות. <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">טבלת כפרים *</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">קוטר d</th> <th colspan="2">m ±</th> <th colspan="2">d ±</th> </tr> <tr> <th>מ ונה</th> <th>U ונה</th> <th>מ ונה</th> <th>U ונה</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6.35</td> <td>±0.08</td> <td>±0.13</td> <td>±0.05</td> <td>±0.08</td> </tr> <tr> <td>9.52</td> <td>±0.08</td> <td>±0.13</td> <td>±0.05</td> <td>±0.08</td> </tr> <tr> <td>12.7</td> <td>±0.13</td> <td>±0.20</td> <td>±0.08</td> <td>±0.13</td> </tr> <tr> <td>15.88</td> <td>±0.15</td> <td>±0.27</td> <td>±0.10</td> <td>±0.18</td> </tr> <tr> <td>19.05</td> <td>±0.15</td> <td>±0.27</td> <td>±0.10</td> <td>±0.18</td> </tr> <tr> <td>25.4</td> <td>±0.18</td> <td>±0.38</td> <td>±0.13</td> <td>±0.25</td> </tr> </tbody> </table>	טבלת כפרים *					קוטר d	m ±		d ±		מ ונה	U ונה	מ ונה	U ונה	6.35	±0.08	±0.13	±0.05	±0.08	9.52	±0.08	±0.13	±0.05	±0.08	12.7	±0.13	±0.20	±0.08	±0.13	15.88	±0.15	±0.27	±0.10	±0.18	19.05	±0.15	±0.27	±0.10	±0.18	25.4	±0.18	±0.38	±0.13	±0.25
טבלת כפרים *																																																
קוטר d	m ±		d ±																																													
	מ ונה	U ונה	מ ונה	U ונה																																												
6.35	±0.08	±0.13	±0.05	±0.08																																												
9.52	±0.08	±0.13	±0.05	±0.08																																												
12.7	±0.13	±0.20	±0.08	±0.13																																												
15.88	±0.15	±0.27	±0.10	±0.18																																												
19.05	±0.15	±0.27	±0.10	±0.18																																												
25.4	±0.18	±0.38	±0.13	±0.25																																												

דוגמה 29

יש לחרוט אלומיניום בעזרת סכין חריטה מפלדה מהירה - H.S.S בעיבוד גמר.
קוטר חריטה 40 mm. קבעו את מהירות החיתוך, קידמה ומספר סיבובי העובד.

פתרון דוגמה 29

מטבלה 11

$$v_c = 35 \frac{m}{min}$$

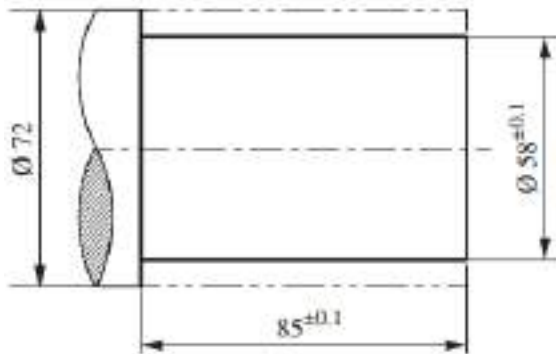
$$f_{rev} = 0.17 \frac{mm}{rev}$$

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 35}{\pi \cdot 40} \approx 280 \text{ rpm}$$

דוגמה 30

באיור לשאלה זו מתואר חלק שיש לחרוט בו מדרגה שקוטרה 58 mm (משטחי החריטה מודגשים בקו עבה).

נתונים:



חומר כלי החריטה	מתק"ש
חומר העובד	SAE 1060
מהירות חיתוך	$v = 245 \frac{m}{min}$
קידמה לסיבוב	$f_{rev} = 0.4 \frac{mm}{rev}$
היגש	$a = 1 \text{ mm}$
נצילות מחרטה	80%

דרוש:

א. חשבו את משך הזמן הדרוש לחריטת המדרגה.

ב. חשבו את ההספק הדרוש לביצוע החריטה.

פתרון דוגמה 30

א. חשבו את משך הזמן הדרוש לחריטת המדרגה.

$$t = \frac{L \cdot i}{f_{rev} \cdot n}$$

$$L = 85 + 2 = 87 \text{ mm}$$

$$i = \frac{D - d}{2a} = \frac{72 - 58}{2 \cdot 1} = 7$$

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 245}{\pi \cdot 72} = 1085 \text{ rpm}$$

$$t = \frac{87 \cdot 7}{0.4 \cdot 1085} = 1.4 \text{ min}$$

דוגמה 30 המשך מעמוד קודם

ב. חשבו את ההספק הדרוש לביצוע החריטה.

$$H = \frac{P_z \cdot v_c}{1000 \cdot 60 \cdot \eta}$$

$$P_z = K_S \cdot a \cdot f_{rev}$$

$$K_S = 2300 \text{ MPa}$$

$$P_z = 2300 \cdot 1 \cdot 0.4 = 920 \text{ N}$$

$$H = \frac{920 \cdot 245}{1000 \cdot 60 \cdot 0.8} = 4.7 \text{ kW}$$

קידמה (בחריטה ובקידוח), $f \left[\frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right]$							המאמץ הגבולי	סוג המתכת
3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	$\sigma \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$	
600	1,000	1,350	1,900	2,600	3,600	4,600	450	SAE 1113
600	1,000	1,350	1,900	2,600	3,600	4,600	400	SAE 1015
600	1,000	1,350	1,900	2,600	3,600	4,600	450	SAE 1020
700	1,000	1,500	2,100	2,900	4,000	5,500	500	SAE 1025
700	1,000	1,500	2,100	2,900	4,000	5,500	650	SAE 1040
850	1,100	1,600	2,300	3,150	4,400	6,000	700	SAE 1045
850	1,100	1,600	2,300	3,150	4,400	6,000	650	SAE 1060
950	1,200	1,700	2,400	3,300	4,600	6,500	700	SAE 1070
950	1,200	1,700	2,400	3,300	4,600	6,500	800	SAE O1
1,000	1,250	1,750	2,450	3,400	4,700	6,500	650	SAE 3115
1,250	1,500	2,000	2,750	3,800	5,300	5,900	1,200	SAE 4140
1,500	1,800	2,150	3,000	4,100	5,700	7,200	1,400	SAE 4340
500	800	1,080	1,500	2,080	2,900	3,900	–	יצקת אפורת

דוגמה 31

באיור לשאלה מוצג ציר מתוברג העשוי פלדה SAE 1040. הציר מיוצר בעיבוד שבבי מתוך מוט.

העיבוד מבוצע בשני שלבים:

שלב 1 – עיבוד מוקדם מקוטר 44 mm לקוטר 41 mm והשארית 1 mm בקוטר בכל מידות החלק לעיבוד גמר.

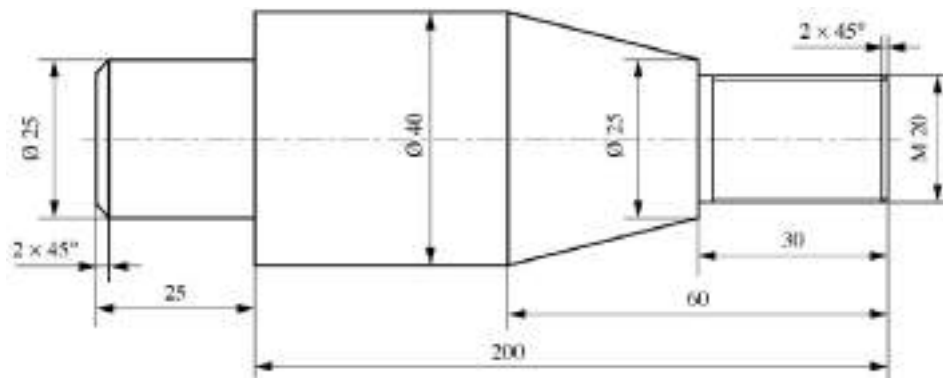
שלב 2 – עיבוד גמר לפני ביצוע התבריג.

חומר כלי העיבוד: מתק"ש

הערה: הזניחו את השחרור הנדרש בתבריג.

נתונים:

נצילות מחרטה	80%
התנגדות סגולית	2500 MPa
קידמה בשלב העיבוד המוקדם	$0.2 \frac{mm}{rev}$
קידמה בשלב העיבוד הגמר	$0.1 \frac{mm}{rev}$



דרוש:

א. חשבו את ההספק המרבי הנדרש לשלב העיבוד המוקדם.

ב. חשבו את הזמן הנדרש לשלב עיבוד הגמר.

פתרון דוגמה 31

א. חשבו את ההספק המרבי הנדרש לשלב העיבוד המוקדם.

$$H = \frac{P_z \cdot v_c}{1000 \cdot 60 \cdot \eta}$$

$$P_z = K_S \cdot a \cdot f_{rev}$$

$$K_S = 2500 \text{ MPa}$$

$$a = \frac{D - d}{2} = \frac{44 - 41}{2} = 1.5 \text{ mm}$$

$$P_z = 2500 \cdot 1.5 \cdot 0.2 = 750 \text{ N}$$

$$v_c = 170 \frac{m}{min}$$

$$H = \frac{750 \cdot 170}{1000 \cdot 60 \cdot 0.8} = 2.7 \text{ kW}$$

דוגמה 31 המשך מעמוד קודם

ב. חשבו את הזמן הנדרש לשלב עיבוד הגמר.

$$t = \frac{L \cdot i}{f_{\text{rev}} \cdot n}$$

$$L = 2 + 200 + 2 = 204 \text{ mm}$$

$$i = \frac{D - d}{2a} = \frac{41 - 40}{2 \cdot 0.5} = 1$$

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}$$

מטבלה 6 עבוד פלדה פחמנית

$$v_c = 210 \frac{m}{min}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 210}{\pi \cdot 41} \cong 1630 \text{ rpm}$$

$$t = \frac{204 \cdot 1}{0.1 \cdot 1630} = 1.25 \text{ min}$$

23. כרסום (Milling)

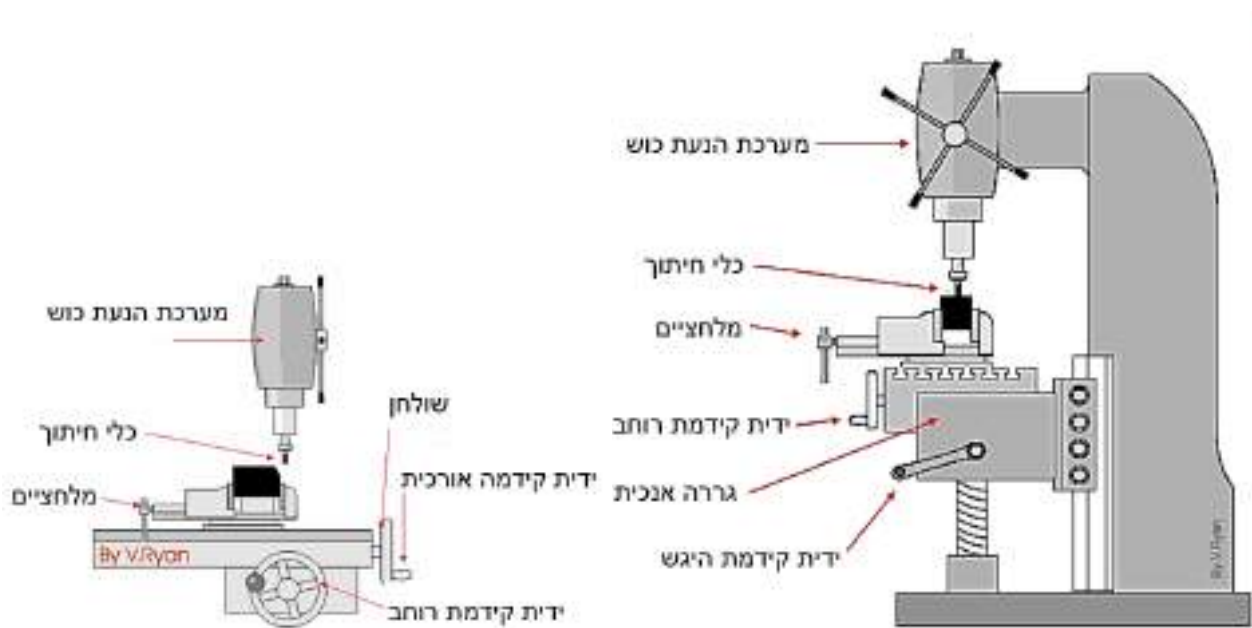
בפעולת הכרסום מבצעים עיבוד שבבי של משטחים מישוריים או צורתיים. הכרסום מבוצע בעזרת כלי חיתוך (כרסום). במהלך הכרסום המוצר מהודק לשולחן המכונה והכרסום מהודק לראש הכרסומת.

בכל סיבוב של הכרסום משתלבות השפות החותכות במגע עם העובד ולאחר מכן יוצאות מהעובד ומתקררות. עקב החיתוך המקוטע, כוחות החיתוך וטמפרטורת השפה החותכת אינם יציבים.

כרסומת

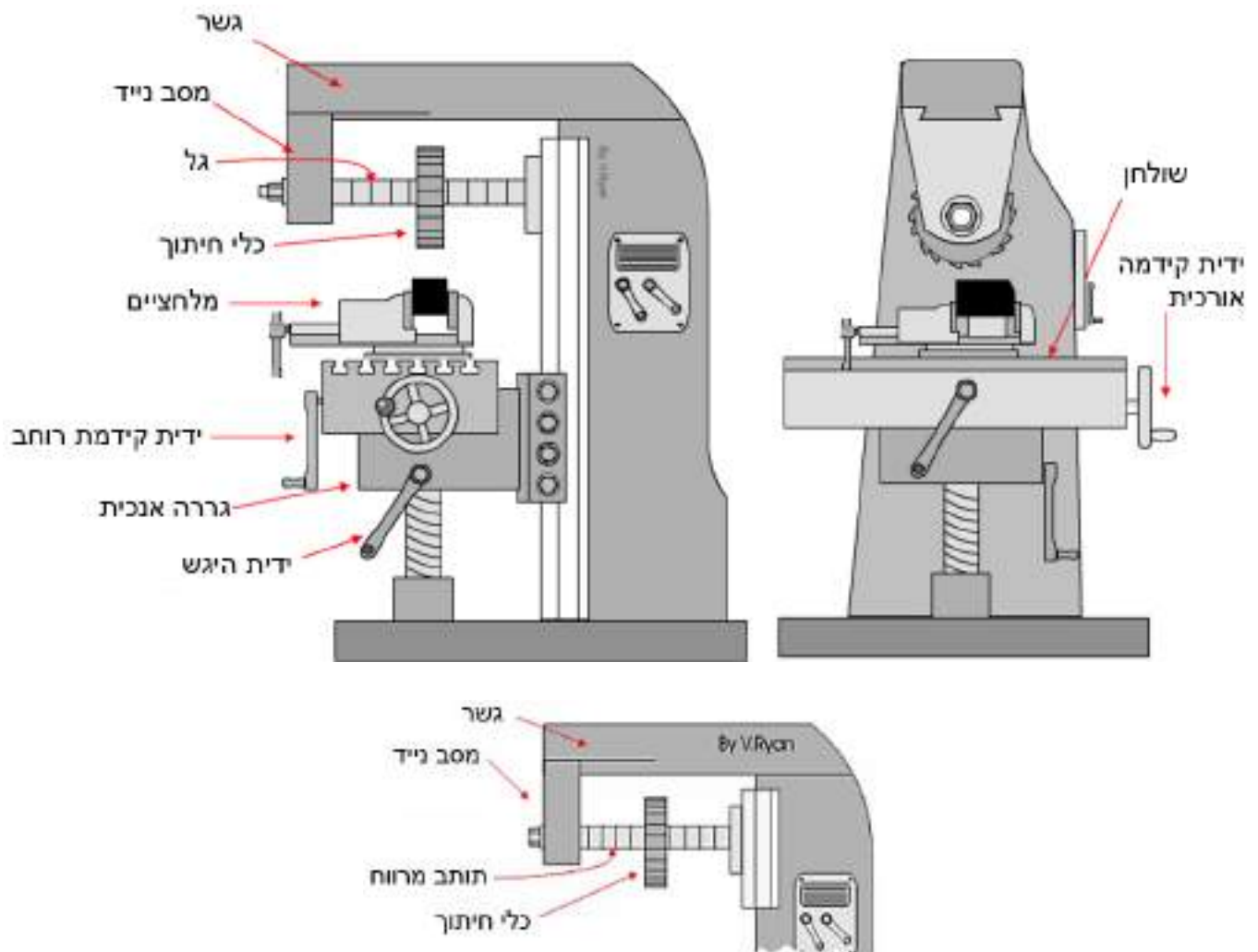
כרסומת אנכית

במכונה זו כוש המכונה אנכי לשולחן המכונה.

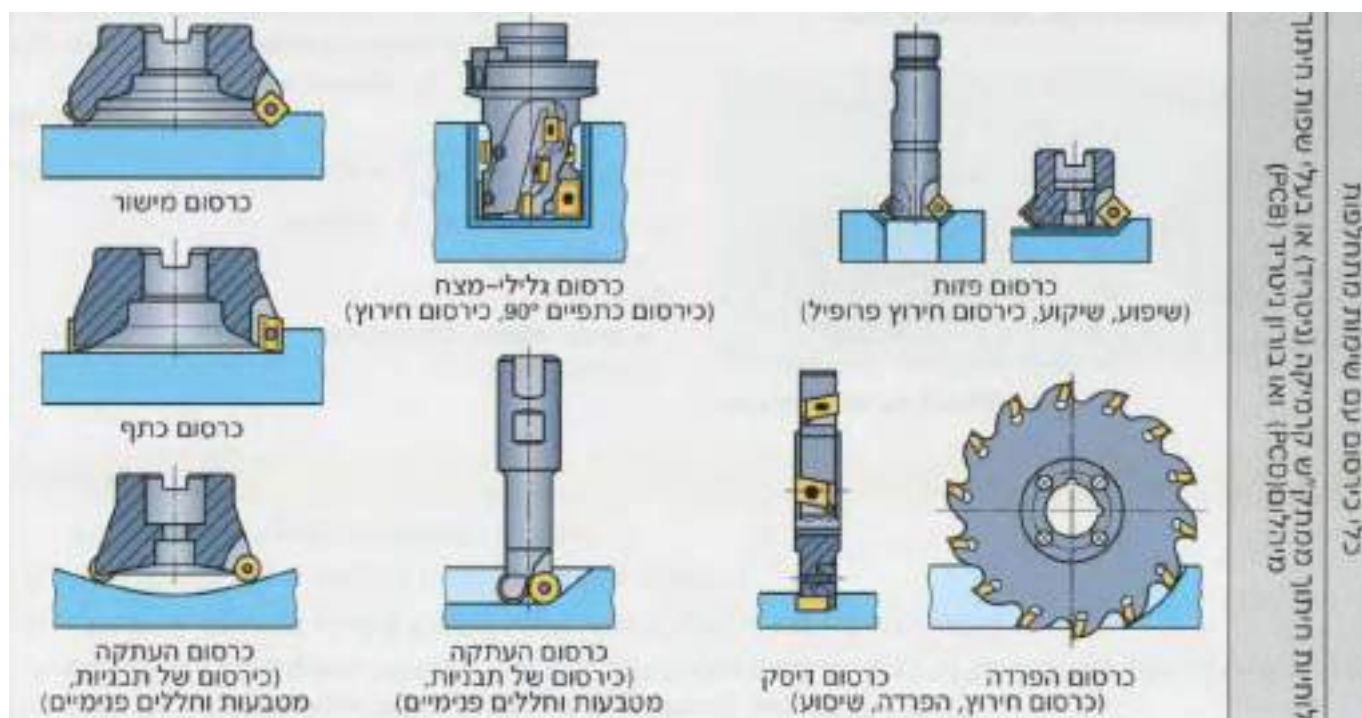
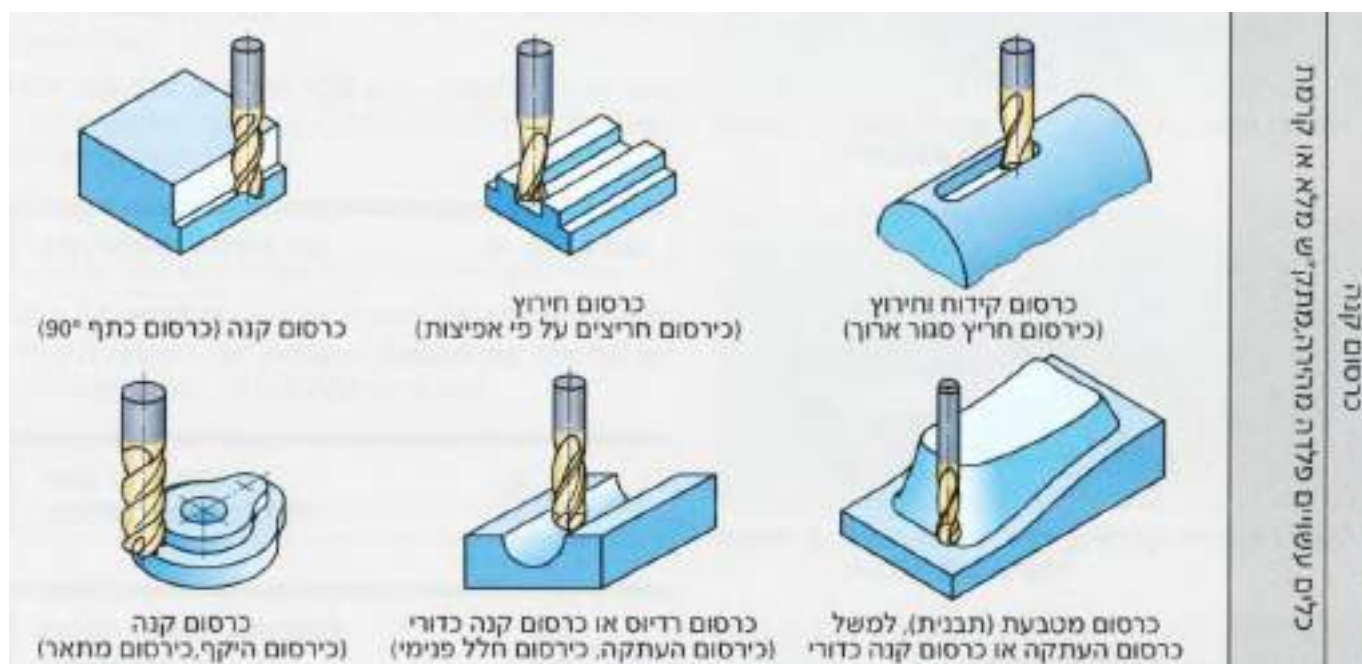


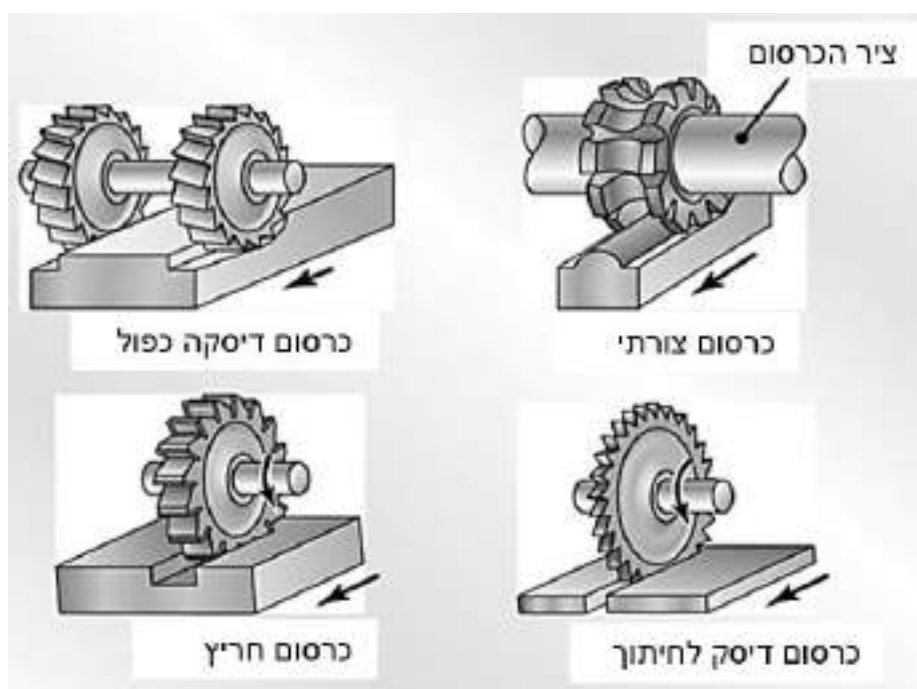
כרסומת אופקית

במכונה זו כוש המכונה מקביל לשולחן המכונה.



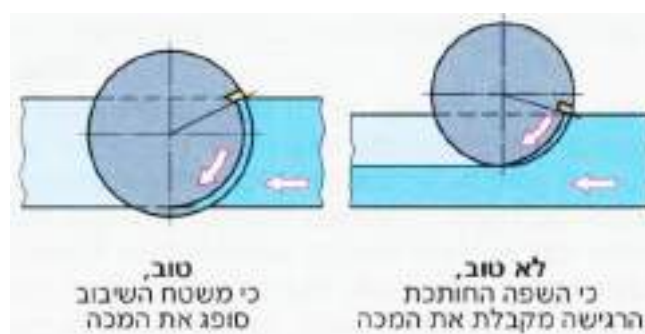
פעולות בכרסום





בלאי כלים

כרסומים תמיד עובדים בחיתוך מקוטע. בגמר השתלבותה של השפה החותכת וחימומה בהתאם, השפה שוב מתקררת, כך שנוצרים בה שינויי טמפרטורה גדולים.



בכל התחלת חיתוך של שימה נוצרת מכת עומס (הלם). אם ציר הכרסום נמצא מחוץ לעובד, השפות החותכות עלולות להישבר עקב המכה בכניסה לעובד. אם ציר הכרסום נמצא בתחום העובד, משטח השיבוב היציב יותר סופג את עומס המכה.

גם ביציאה מהעובד עלולים להיווצר שברים או סדקים בחומרי חיתוך קשים או פריכים עקב שחרור לחץ פתאומי.

כרסום מנוגד וכרסום מתלווה

לפי כיוון תנועת הקידמה ביחס לתנועת החיתוך, מבדילים בין כרסום מנוגד וכרסום מתלווה.



כרסום מנוגד

תנועת החיתוך המתקבלת מסיבוב הכלי ותנועת המוצר מתבצעות בכיוונים מנוגדים.

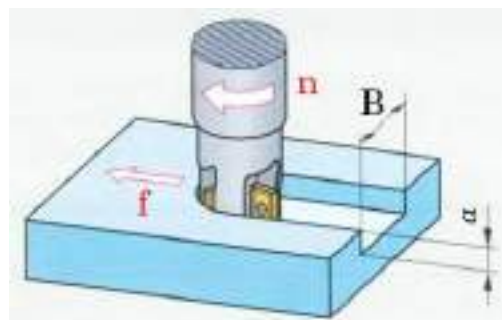
כרסום מתלווה (שווה, מטפס)

תנועת החיתוך המתקבלת מסיבוב הכלי ותנועת המוצר מתבצעות בכיוונים זהים.

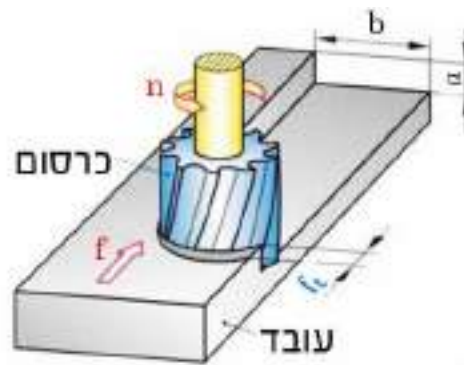
תנועות בפעולת הכרסום

בכרסומת מתבצעת תנועה של העובד אל כלי החיתוך וממנו.

כרסומת אנכית



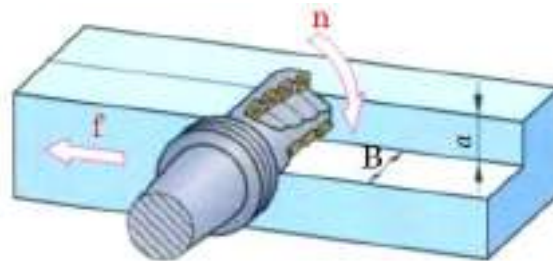
n	תנועת הסיבוב – תנועה סיבובית של הכרסום סביב ציר Z	rpm
f_{rev}	תנועת קידמה – מידת התקדמות כלי העיבוד בסיבוב אחד של העובד	$\frac{mm}{rev}$
a	תנועת היגש – תנועה קווי הקובעת את עומק השבב שכלי החיתוך חודר לחומר	mm



$$f = f_t \cdot z \cdot n$$

n	תנועת הסיבוב – תנועה סיבובית של הכרסום סביב ציר Z	rpm
f_{rev}	תנועת קידמה – מידת התקדמות כלי העיבוד בסיבוב אחד של העובד	$\frac{mm}{rev}$
f_t	קידמה לשן – מידת התקדמות שן כלי העיבוד	$\frac{m}{tooth}$
z	מספר שיני הכרסום	

כרסומת אופקית



n	תנועת הסיבוב – תנועה סיבובית של הכרסום סביב ציר Z	rpm
f	תנועת קידמה – מידת התקדמות כלי העיבוד בסיבוב אחד של העובד	$\frac{mm}{rev}$
a	תנועת היגש – תנועה קווי הקובעת את עומק השבב שכלי החיתוך חודר לחומר ⁹⁷	mm

⁹⁷ יש לקחת בחשבון שבכל פעולה יורד $2a$

חישובים בכרסום

מהירות סיבוב

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D}$$

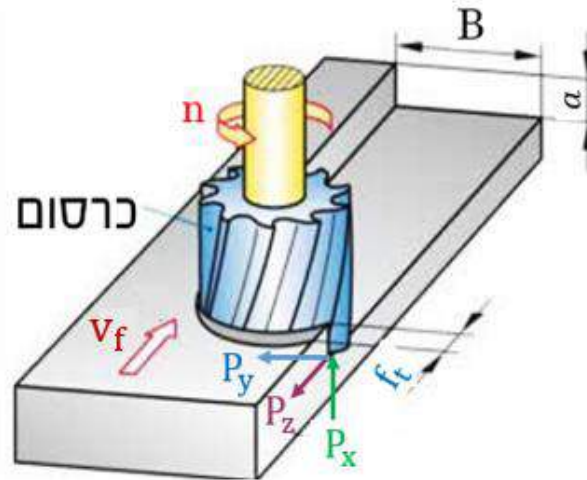
v_c	מהירות חיתוך (מהירות הקפית)	$\frac{m}{min}$
n	מהירות סיבוב הכרסום	rpm
D	קוטר הכרסום	mm

מהירות התקדמות השולחן

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z$$

v_f	מהירות קדימה	$\frac{mm}{min}$
f_z	קידמה לשן – מידת התקדמות שן כלי העיבוד	$\frac{mm}{tooth}$
n	מהירות סיבוב הכרסום	rpm
z	מספר שיני הכרסום	

כוחות חיתוך



$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}$$

P_z	רכיב משיקי של כוח החיתוך הגורם להפרדת השבב ⁹⁸	N
P_y	רכיב רדיאלי של כוח החיתוך, המבטא התנגדות חומר לתנועת הקידמה	N
P_x	כוח צירי הפועל לאורך ציר הכרסום ומבטא התנגדות חומר לתנועת ההיגש	N

$$P_z = K_S \cdot \frac{B \cdot a \cdot f_z \cdot Z}{\pi \cdot d} = K_S \cdot \frac{B \cdot a \cdot V_f}{\pi \cdot d \cdot n}$$

P_z	רכיב משיקי של כוח החיתוך	N
K_S	התנגדות סגולית בכרסום (נתון)	MPa
B	רוחב הכרסום	mm
a	היגש	mm
f_z	קידמה לשן – מידת התקדמות שן כלי העיבוד	$\frac{\text{mm}}{\text{tooth}}$
z	מספר שיני הכרסום	
d	קוטר כרסום	mm
a	היגש	mm
V_f	מהירות קדימה	$\frac{\text{mm}}{\text{min}}$
n	מהירות סיבוב הכרסום	rpm

⁹⁸ גורם למאמצי כפיפה ופיתול בציר הכרסום ולמאמצי כפיפה בשן הכרסום.

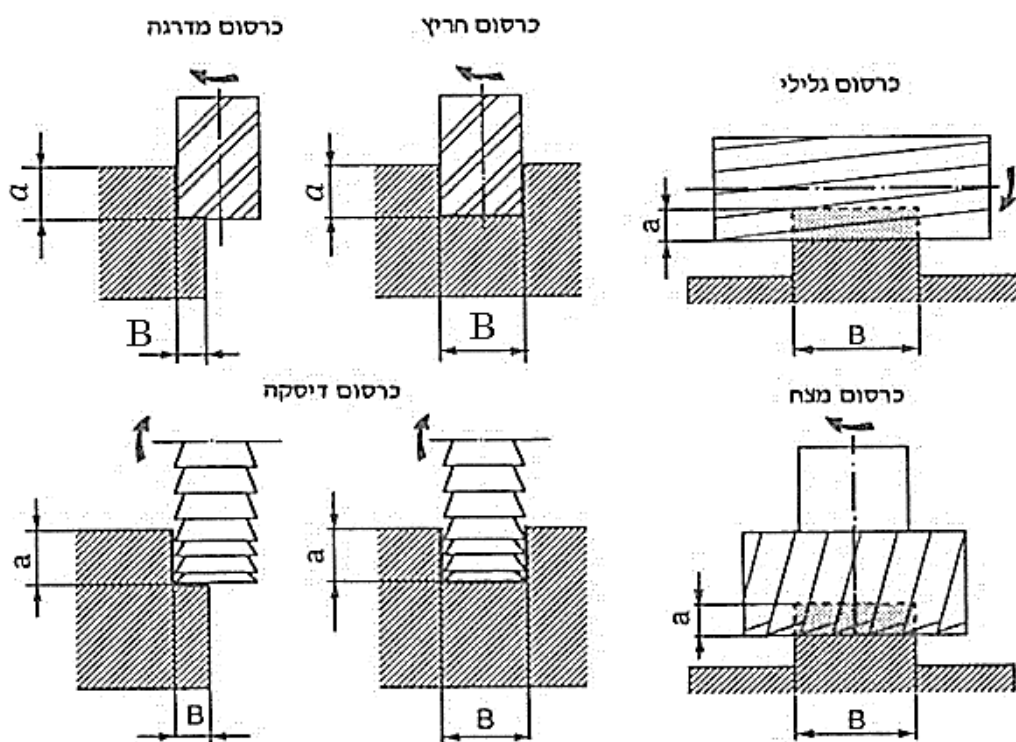
הכוחות P_x ו- P_y גורמים לכפיפת כלי החיתוך וניתן לחשבם בנוסחאות מקורבות:

$$P_x = \tan \varphi \cdot P_z$$

$$P_y = 0.35 \cdot P_z$$

P_y	רכיב רדיאלי של כוח החיתוך, המבטא התנגדות חומר לתנועת הקידמה	N
P_x	כוח צירי הפועל לאורך ציר הכרסום ומבטא התנגדות חומר לתנועת ההיגש	N
P_z	רכיב משיקי של כוח החיתוך הגורם להפרדת השבב	N
φ	זווית שיפוע השיניים	$^{\circ}$

ערכי היגש (a) ורוחב כרסום (B) במקרים שונים של כרסום



מומנט סיבוב דרוש לסיבוב הכרסום

$$M_t = \frac{P_z \cdot d}{2}$$

M_t	מומנט סיבוב דרוש לסיבוב הכרסום	Nmm
P_z	רכיב משיקי של כוח החיתוך הגורם	N
d	קוטר כרסום	mm

הספק דרוש לביצוע כרסום

$$H = \frac{P_z \cdot v_c}{1000 \cdot 60 \cdot \eta}$$

H	הספק ⁹⁹	kW
P_z	רכיב משיקי של כוח החיתוך הגורם להפרדת השבב	N
v	מהירות חיתוך (מהירות הקפית)	$\frac{m}{min}$

η נצילות כרסומת

לא נתון, הנח: $\eta = 0.7 - 0.8$

זמן כרסום

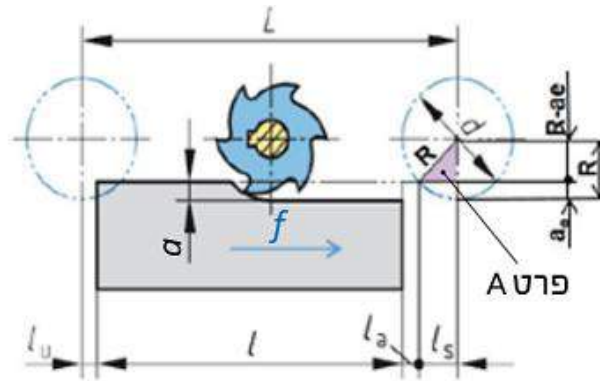
$$t = \frac{L \cdot i}{f_z \cdot n \cdot z} = \frac{L \cdot i}{v_f}$$

t	זמן כרסום ישיר	min
L	מהלך הכרסום ¹⁰⁰	mm
i	מספר מעברים – כמה פעמים יש לעבור עם הכרסום לקבלת מידה דרושה	
n	מהירות סיבוב הכרסום	rpm
z	מספר שיני הכרסום	
f_z	קידמה לשן – מידת התקדמות שן כלי העיבוד	$\frac{mm}{tooth}$
v_f	מהירות קדימה	$\frac{mm}{min}$

⁹⁹ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) או באות N לסימון המושג **הספק** הוא יחליף את השימוש באות H .

¹⁰⁰ הדרך שעל הכרסום לעבור לשם גמר פעולת כרסום אחת, כוללת גם אורך מעבר של הכרסום משני צדי העובד.

כרסום משטח בכרסום גלילי



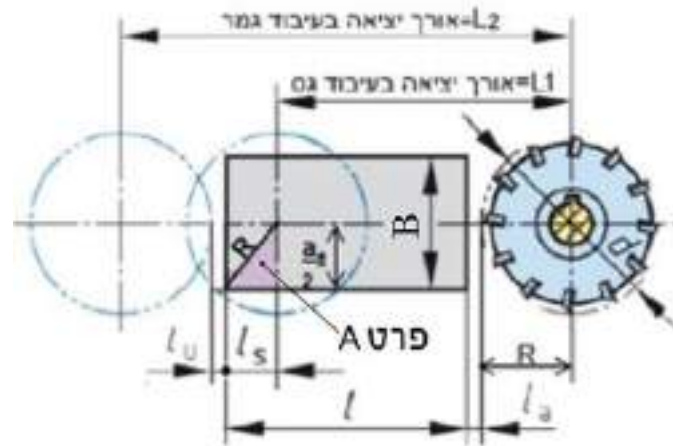
$$L = l_s + l_a + l + l_u$$

$$l_s = \sqrt{R^2 - (R - a)^2}$$

mm	L	מהלך הכרסום
mm	l	אורך המוצר
mm	l_s	מרחק התמקמות הכרסום לפני העיבוד
mm	l_a	תוספת כניסת הכרסום
		לא נתון, הנח : 2.5 mm
mm	l_u	תוספת יציאת הכרסום
		לא נתון, הנח : 2.5 mm
mm	R	רדיוס כרסום
mm	a	היגש

כרסום בכרסום מצח

בעיבוד בכרסום מצח, בתחילת העיבוד נציב את הכרסום מרוחק מהעובד בערך של רדיוס הכרסום, בתוספת מרחק ביטחון של כמה מ"מ בודדים. גם ביציאת הכרסום נרחיק את הכרסום מהשטח המעובד בכל היקפו.



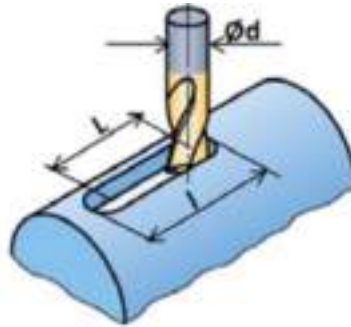
$$L_1 = R + l_a + l + l_u - l_s$$

$$L_2 = 2R + l_a + l + l_u$$

$$l_s = \sqrt{R^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2}$$

mm	L_1	מהלך הכרסום בעיבוד גס
mm	L_2	מהלך הכרסום בעיבוד עדין
mm	l	אורך המוצר
mm	l_s	מרחק מחושב ליציאת הכרסום בעיבוד גס
mm	l_a	תוספת כניסת הכרסום
mm	l_u	תוספת יציאת הכרסום
mm		לא נתון, הנח: 2.5 mm
mm		לא נתון, הנח: 2.5 mm
mm	R	רדיוס כרסום
mm	B	רוחב כרסום

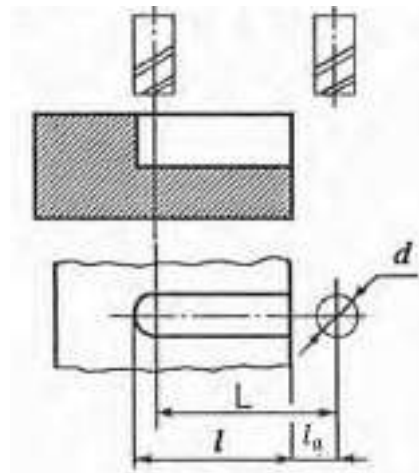
כרסום חריץ סגור בכרסום קנה



$$L = l - d$$

mm	L	מהלך הכרסום
mm	l	אורך החריץ
mm	d	קוטר כרסום
mm	l_a	תוספת כניסת הכרסום

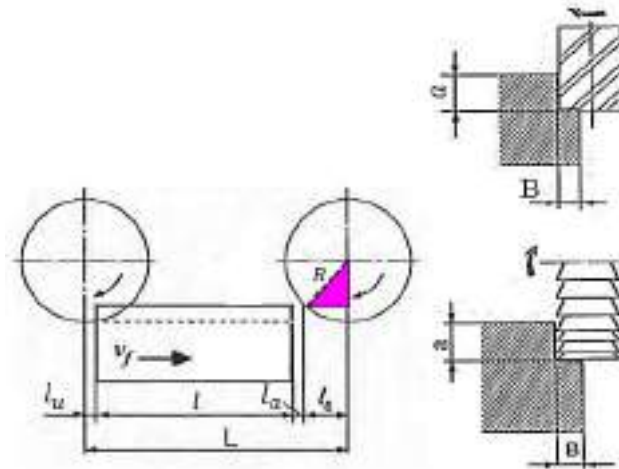
כרסום חריץ פתוח בכרסום קנה



$$L = l_a + l - \frac{d}{2}$$

mm	L	מהלך הכרסום
mm	l_a	תוספת כניסת הכרסום
		לא נתון, הנח: 2.5 mm
mm	l	אורך המוצר
mm	d	קוטר כרסום

כרסום מדרגה / חריץ



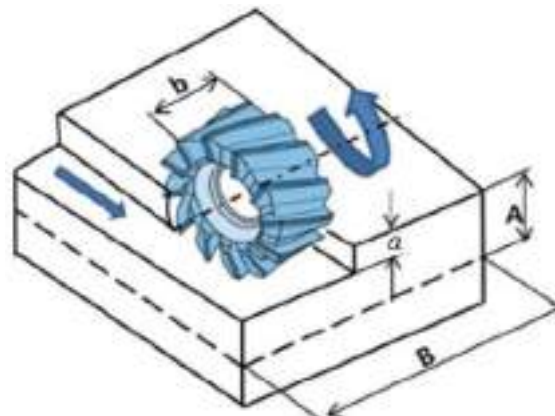
$$L = l_0 + l_a + l + l_u$$

$$l_0 = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - B\right)^2}$$

mm	L	מהלך הכרסום
mm	l_0	מרחק התמקמות הכרסום לפני העיבוד
mm	l_s	מרחק מחושב ליציאת הכרסום בעיבוד גס
mm	l_a	תוספת כניסת הכרסום
		לא נתון, הנח: 2.5 mm
mm	l_u	תוספת יציאת הכרסום
		לא נתון, הנח: 2.5 mm
mm	B	רוחב כרסום
mm	a	היגש

מספר מעברים

את כמות המעברים קובעים לפי מידות המוצר, מידות הכרסום ותנאי השיבוב. כאשר רוחב הכרסום קטן מרוחב השטח המעובד, יש צורך לבצע כמה מעברים לרוחב. אם צריך להסיר עובי חומר שלא ניתן להסירו בפעם אחת, יש לבצע מספר מעברי עומק.



$$k = \frac{A}{a}$$

$$i = \frac{B}{b} \cdot k$$

i	מספר מעברים
k	מספר שבבים דרושים לכרסום העומק
A	עובי החומר להסרה
mm	
a	היגש
mm	
B	רוחב החלק
mm	
b	רוחב כרסום
mm	

טבלה 17 – נתוני שיבוב כרסומי H.S.S

חומר עובד	תכונות מכניות	מהירות, v_c	קידמה לשן, f_z		
			כרסום אצבע	כרסום פנים	כרסום דיסקה
אלומיניום ונתכים		150	0.1 – 0.1	0.5 – 0.07	0.3 – 0.07
נחושת ונתכים		50	0.1 – 0.02	0.4 – 0.06	0.3 – 0.06
יצקת ברזל	HB < 200	23	0.06 – 0.01	0.4 – 0.06	0.3 – 0.06
	HB > 200	25	0.05 – 0.01	0.4 – 0.06	0.25 – 0.05
פלדות	$\sigma_B < 600$	45	0.1 – 0.02	0.35 – 0.05	0.25 – 0.05
	$600 < \sigma_B < 800$	34	0.09 – 0.02	0.3 – 0.03	0.2 – 0.03
	$800 < \sigma_B < 1,100$	28	0.08 – 0.02	0.3 – 0.02	0.15 – 0.02
	$\sigma_B < 1,100$	18	0.06 – 0.01	0.25 – 0.2	0.15 – 0.02
פלב"מ	HB < 225	25	0.06 – 0.01	0.2 – 0.04	0.18 – 0.04
	HB > 225	20	0.06 – 0.01	0.15 – 0.02	0.12 – 0.02

מהירות חיתוך – $v_c \left[\frac{m}{min} \right]$ קידמה לשן – $f_z \left[\frac{mm}{tooth} \right]$

טבלה 18 – נתונים לכרסום אצבע, כרסום שטח, כרסום דסקה מ-H.S.S

חומר עובד	תכונות מכניות	מהירות, v_c	קדמה לשן, f_z		
			כרסום אצבע	כרסום שטח	כרסום דיסקה
אלומיניום		150	0.1 – 0.1	0.5 – 0.07	0.3 – 0.07
נחושת ונתכים		50	0.1 – 0.02	0.4 – 0.06	0.3 – 0.06
ברזל יציקה	HB < 200	33	0.06 – 0.01	0.4 – 0.06	0.3 – 0.05
	HB > 200	25	0.05 – 0.01	0.4 – 0.04	0.25 – 0.05
פלדות	$\sigma_B < 600$	45	0.1 – 0.02	0.35 – 0.05	0.25 – 0.05
	$600 < \sigma_B < 800$	34	0.09 – 0.02	0.3 – 0.03	0.2 – 0.03
	$600 < \sigma_B < 1,100$	28	0.08 – 0.02	0.3 – 0.02	0.15 – 0.02
	$\sigma_B < 1,100$	18	0.06 – 0.01	0.25 – 0.2	0.15 – 0.02
פלב"מ	HB < 225	25	0.06 – 0.01	0.2 – 0.04	0.18 – 0.04
	HB > 225	20	0.06 – 0.01	0.15 – 0.02	0.12 – 0.02

מהירות חיתוך – $v_c \left[\frac{m}{min} \right]$ קידמה לשן – $f_z \left[\frac{mm}{tooth} \right]$ – החוזק הסופי של החומר – $\sigma_B [MPa]$

טבלה 19 – נתוני שיבוב כרסום אצבע מתק"ש

חומר עובד	קשיות	כרסום גס		כרסום עדין	
		v_c	f_z	v_c	f_z
פלדה	HB 85–150	120–160	0.06–0.100	150–220	0.04–0.090
	HB 150–200	100–150	0.06–0.100	140–190	0.03–0.080
	HB 200–250	90–130	0.05–0.100	130–170	0.02–0.070
	HB 250–325	75–100	0.05–0.100	100–125	0.02–0.050
	HB 325–400	45–70	0.02–0.070	50–85	0.02–0.040
	Rc 45–48	30–40	0.01–0.015	40–50	0.01–0.015
	Rc 48–50	20–30	0.01–0.015	30–40	0.01–0.015
פלג"ס	HB 135–185	90–130	0.02–0.08	100–160	0.01–0.05
	HB 185–250	70–100	0.02–0.08	90–140	0.01–0.05
	HB 250–325	50–75	0.02–0.08	70–100	0.01–0.05
	HB 385–400	25–35	0.02–0.08	35–40	0.01–0.05
ברזל יציקה	HB 150–200	100–120	0.05–0.10	140–160	0.02–0.07
	HB 200–250	70–90	0.04–0.10	90–110	0.02–0.05
	HB 250–300	35–60	0.03–0.09	70–100	0.01–0.05
	HB > 300	30–40	0.02–0.07	40–50	0.01–0.04
טיטניום	< 99.2%	25–60	0.02–0.10	30–60	0.02–0.05
	> 99.2%	90–120	0.05–0.08	100–120	0.02–0.07
ברונזה		150–250	0.10–0.30	200–300	0.04–0.15
אלומיניום		300–600	0.08–0.20	400–1100	0.05–0.12
חומרים פלסטיים		100–250	0.10–0.20	100–400	0.05–4.00

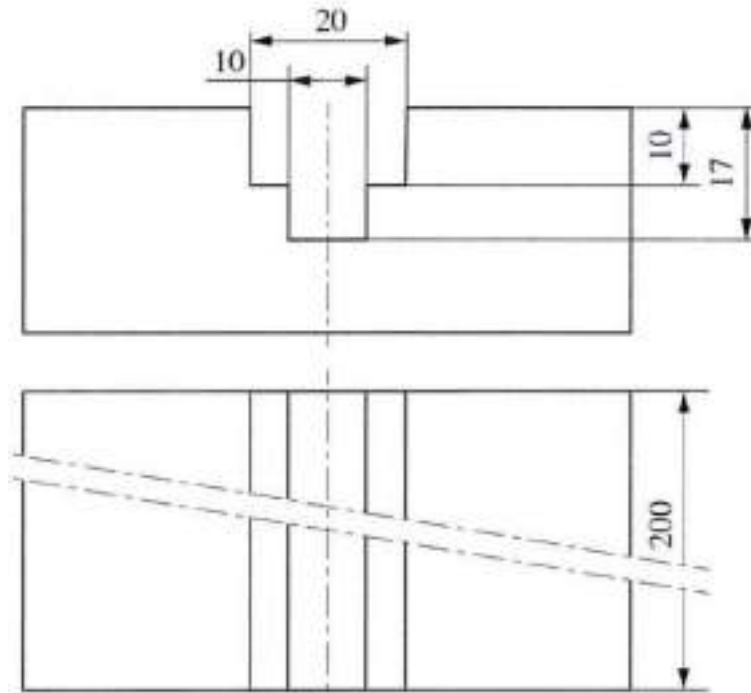
$$\left[\frac{\text{mm}}{\text{tooth}} \right] f_z - \text{קידמה לשן}$$

$$\left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right] v_c - \text{מהירות חיתוך}$$

דוגמה 32

בחלק עשוי פלדה, נדרש לכרסם חריץ מדורג לכל אורכו, כמוצג באיור לשאלה. הכרסום מתבצע באמצעות כרסומי אצבע בעלי ארבע שיניים העשויים מתק"ש. החלק עשוי פלדה בקשיות HRC 45.

נתוני ההיגש בעיבוד: עיבוד גס עד 3 מ"מ, עיבוד גמר עד 1 מ"מ.



דרוש:

- חשבו את זמן הכרסום הישיר, הנדרש לעיבוד ראשוני בלבד, בהנחה שיש לתת לכלי תוספת מהלך 2 מ"מ מכל צד של העובד, בכל אחד ממהלכי העיבוד.
- חשבו את הספק הכרסומת המינימלי הנדרש לעיבוד ראשוני, אם נצילות הכרסומת 80% וההתנגדות הסגולית לשיבוב 4900 MPa.

פתרון דוגמה 32

א. חשבו את זמן הכרסום הישיר, הנדרש לעיבוד ראשוני בלבד, בהנחה שיש לתת לכלי תוספת מהלך 2 מ"מ מכל צד של העובד, בכל אחד ממהלכי העיבוד.

תנאי שיבוב:

$$v = 35 \frac{m}{min}$$

$$f_z = 0.0125 \frac{mm}{tooth}$$

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 35}{\pi \cdot 10} = 1115 \text{ rpm}$$

מספר מעברים חריץ רחב

$$k = \frac{A}{a} = \frac{9}{3} = 3$$

$$i = \frac{B}{b} \cdot k = \frac{20}{10} \cdot 3 = 6$$

מספר מעברים חריץ צר

$$k = \frac{A}{a} = \frac{5}{2.5} = 2$$

$$i = \frac{B}{b} \cdot k = \frac{10}{10} \cdot 2 = 2$$

סה"כ מעברים

$$i = 6 + 2 = 8$$

דוגמה 32 המשך מעמוד קודם

אורך כרסום

$$L = l_0 + l_a + l + l_u$$

$$l_0 = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - B\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{10}{2}\right)^2 - \left(\frac{10}{2} - 5\right)^2} = 5 \text{ mm}$$

$$L = 5 + 2 + 200 + 2 = 209 \text{ mm}$$

זמן כרסום

$$t = \frac{L \cdot i}{f_z \cdot n \cdot z} = \frac{209 \cdot 8}{0.0125 \cdot 1115 \cdot 4} = 30 \text{ min}$$

ב. חשבו את הספק הכרסומת המינימלי הנדרש לעיבוד ראשוני, אם נצילות הכרסומת 80% וההתנגדות הסגולית לשיבוב 4900 MPa.

$$H = \frac{P_z \cdot v}{1000 \cdot 60 \cdot \eta}$$

כוח שיבוב

$$P_z = K_s \cdot \frac{B \cdot a \cdot f_z \cdot Z}{\pi \cdot d} = 4900 \cdot \frac{10 \cdot 3 \cdot 0.0125 \cdot 4}{\pi \cdot 10} = 234 \text{ N}$$

$$H = \frac{234 \cdot 35}{1000 \cdot 60 \cdot 0.8} = 0.17 \text{ kW}$$

24. השחזה (Grinding)

השחזה היא תהליך עיבוד עבור חלקים בעלי מידות עם סבולת צפופה, שאינה ניתנת להשגה באמצעות חריטה או כרסום.

עבודות טובה של חומרים קשים
דיוק מידה וצורה מעולים
גליות וחפפוס קטנים



משחזת



משחזים

הסרת החומר במכונת ההשחזה נעשית באמצעות משחז (אבן השחזה)

המשחז מורכב מגרגרים קטנים, בעלי קושי גבוה מאד, המהווים את

החומר החותך, ומחומר המלכד.

החומר המלכד מקשר את הגרגרים הבודדים ויוצר מהם מוצק בעל צורה נדרשת.

השחזה נכונה מותנית בבחירת המשחז המתאים ובמהירות החיתוך הנכונה.

המשחז מתאפיין בכמה גורמים הקובעים את איכותו

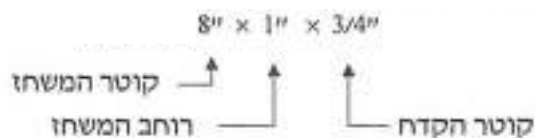
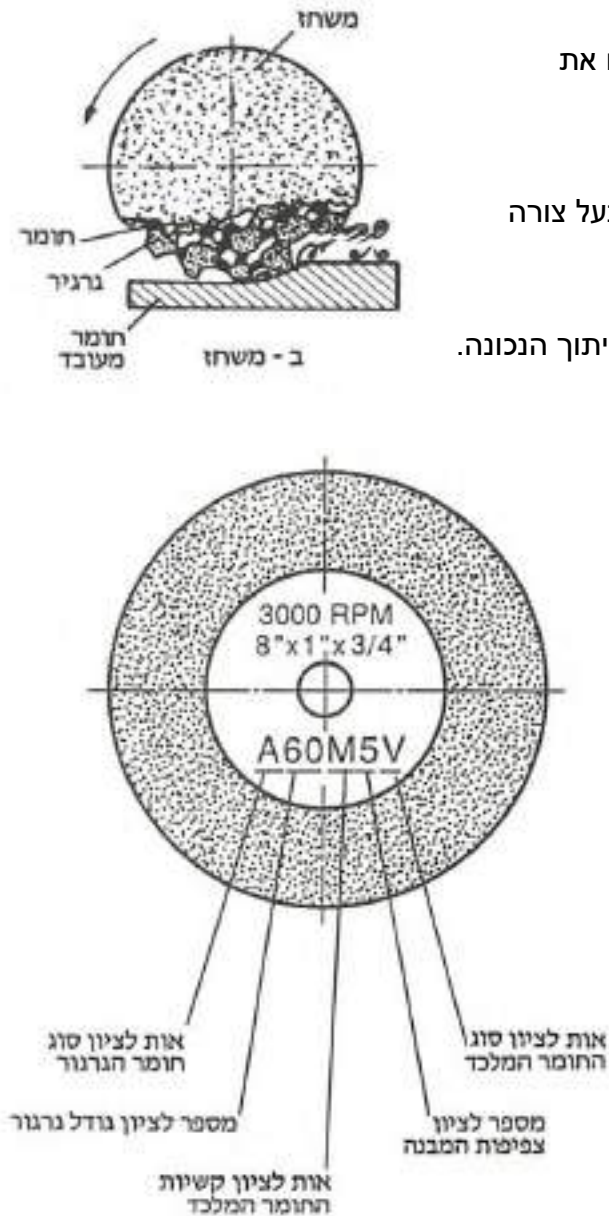
ומציינים את אופי המשחז הם:

- סוג חומר הגרגיר (חומר חיתוך)
- גודל הגרגיר
- קשיות החומר המלכד
- צפיפות מבנה המשחז
- סוג החומר המלכד

כמו כן רשם על המשחז מספר הסיבובים המרבי המותר.

גם מידות המשחז רשומות לפי סדר קבוע משמאל לימין.

לדוגמה:



כלי ההשחזה סובבים מורכבים מגרגרי השחזה, המקשר והנקבוביות הכלואות. עקב תנוחתם (מצב) וצורתם השונה של הגרגרים, זוויות השיבוב, שהן לרוב שליליות ועומקי השיבוב לגרגר אינם מוגדרים.



גרגרי השחזה צריכים להיות בעלי קשיות גבוהה, צפידות מספקת ועמידות טובה בחום.

רוב חומרי ההשחזה מכילים גרגרי השחזה מקורונדום (לבן, ורוד) או מקרביד הצורן (ירוק, שחור). צפידות הגרגר פוחתת עם עליית קשיות גרגר ההשחזה. בגרגרים קשים ופריכים מתאפשר בעומס נמוך על הגרגר (השחזת גמר) חידות עצמי עקב התפצלות הגרגר. צפידות מספקת מונעת שבירה מוקדמת של הגרגר (השחזה גסה).

סוג חומר הגרגיר

זהו החומר שממנו עשוי גרגיר ההשחזה

סימון תקני	
D	יהלום – C
A	תחמוצת אלומיניום (קורונד) Al_2O_3
C	קרביד הצורן (קרבורנד) SiC

גודל הגרגיר

טיב מרקם הפנים של השטח המושחז מושפע בעיקר מגודל הגרגרים. ככל שהגרגיר גדול יותר כך הוא מסיר חומר רב יותר, אבל טיב פני השטח המושחז יהיה גם יותר. את גודל הגרגיר מסמנים במספרים 10 עד 800.

שימוש	גודל הגרגיר	סימון תקני
ניקוי יציקות; השחזת תפרי ריתוך	גדול מאוד	16 – 10
ליטוש (לפינג)	קטן מאוד (אבקות)	800 – 320
מירוק (הונינג)		

קשיות החומר המלכד

קשיות החומר המלכד פירושו מידת הדביקות (ההיצמדות) של הגרגרים בחומר המלכד (עד לפינוי מקום לגרגיר אחר, חד יותר). יש להבדיל בין קשיות החומר המלכד לקשיות הגרגיר.

משחז המוגדר רק – משחרר גרגרים בנקל.

משחז המוגדר קשה – משחרר גרגרים בקושי.

חומרים קשים משחזים במשחז רק, מכיוון שחומר עובד קשה מכה את הגרגרים במהירות ולכן יש לדאוג לכך שהמלכד יהיה רק וישחרר את הגרגרים הקשים בזמן המתאים.

חומרים רכים משחזים במשחז קשה, מכיוון שהגרגרים מתקשים לאט יותר.

יוצאי דופן: הנחשת והחמרן הנקיים, הם "מורחים" את המשחז ולכן משחזים אותם במשחז רק.

את קשיות החומר המלכד מסמנים באותיות אנגליות A עד Z.

שימוש	דרגת קשיות	סימון תקני
חומרים קשים במיוחד	רכה ביותר	A.....D
↓ ↓	↓	↓
חומרים רכים שאינם נוטים "למרוח"	קשה מאוד	P.....Z

צפיפות המבנה

תכונה המגדירה את צפיפות הגרעינים בתוך החומר המלכד. צפיפות המבנה תלויה ביחס שבין כמות הגרגרים, כמות החומר המלכד וכמות הנקבוביות (חללים, רווחים). משחז, שכמות המרווחים שלו מהווים 60% מנפח המשחז ונפח הגרגרים 35% מנפח המשחז, הוא משחז שאינו נסתם, אינו נוטה לחמם את המוצר ומסלק שבבים בקלות. את סוגי צפיפות המבנה מחלקים במספרים 0 עד 12.

שימוש	סימון תקני	כינוי
לעבודות מדויקות, לחומרים קשים, להשחזה עדינה וצורתית	0	צפוף
↓ ↓	↓ ↓	↓ ↓
להשחזה גסה, לחומרים רכים הנוטים למריחה	12	מרווח

חומר מלכד

תפקידו ללכד בין הגרגרים הבודדים וליצור מהם גוף מוצק בעל צורה רצויה (חוץ ממשחות). את החומרים מחלקים לקבוצות, בעלי סימון תקני – ראה טבלה. בכל מקרה יש להשתמש בהמלצות היצרן לגבי בחירת משחז.

הסימון	החומר המלכד	
V	קרמיים ;	א.
E	אורגניים ;	ב.
S	מינרליים ;	ג.
M	מתכתיים ;	ד.
R	גומי ;	ה.
B	שרפים ;	ו.

סימן	חומר השחזה	קשיטת קנופ (Knapp) [*] N/mm ²	עמידות בחום עד	תחומי שימוש
A	קורונדום רג' (Al ₂ O ₃)	18000	2000 °C	פלדה בלתי מסונגסת, בלתי מחוסמת, יצקת פלדה, יצקת חשילה
	קורונדום לבן (Al ₂ O ₃)	21000		פלדה מסונגסת גבוה ומסונגסת נמוך, פלדה מחוסמת, פלדת צמנט, פלדת כלים, סיטונים
C	קרביד הצורן (SiC)	24800	1370 °C	חומרים קשים: מתק"ש, יצקת ברזל, HSS, קרמיקה, זכוכית; חומרים רכים: נחושת, אלומיניום, פלסטיקים
CBN	בור נידרד (BN)	80000	1200 °C	פלדות מהירות, פלדות לעבודה בחום ובקור
D	יהלום (C)	70000	800 °C	מתק"ש, יצקת ברזל, זכוכית, קרמיקה, אבן, מתכות אל ברזיליות, לא עבור פלדה, יישור אופני השחזה
[*] לפי שיטת קנופ (Knapp) עומק החדירה נבדק באמצעות פירמידת יהלום בעלת זווית פתיחה של 172.6° ו-130°.				

בלאי גרגר השחזה

שבירה והתנתקות הגרגרים מתוך החומר המקשר שכיחים ביותר בהשפעת כוח חיתוך גדול. בכוח חיתוך קטן העומס על הגרגר גדל כל כך, שחלקיקים קטנים מתפצלים מתוך הגרגר. על-ידי ההתפצלות והתנתקות הגרגרים נוצרות שפות חותכות חדשות. כך כלי השחזה מחדד את עצמו.

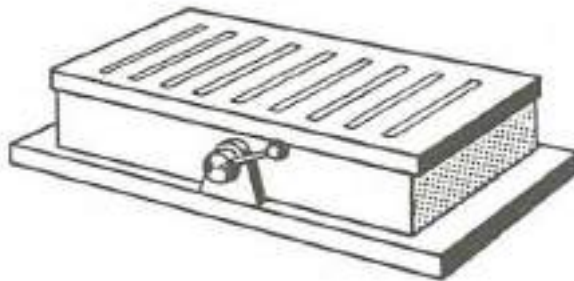
מקשר גרגרי השחזה

תפקיד המקשר הוא להחזיק גרגרים בודדים עד שיהפכו לקהים.

קשיות אופן השחזה מגדירה את התנגדות המקשר כנגד התנתקות גרגרי השחזה.

דפינת העובד

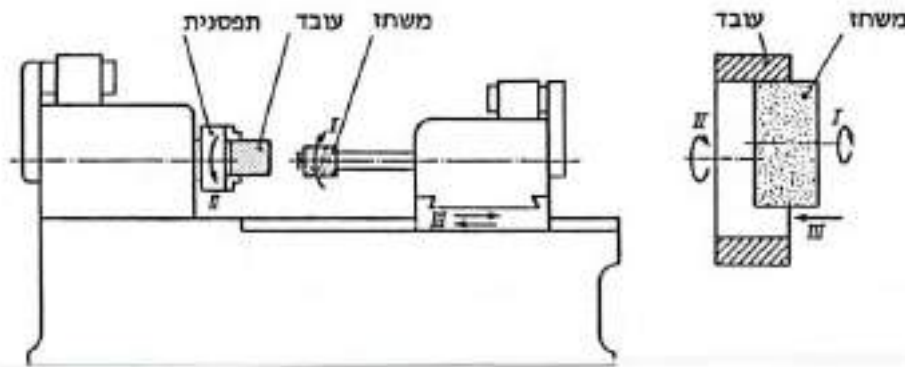
דפינה בעזרת משטח מגנטי



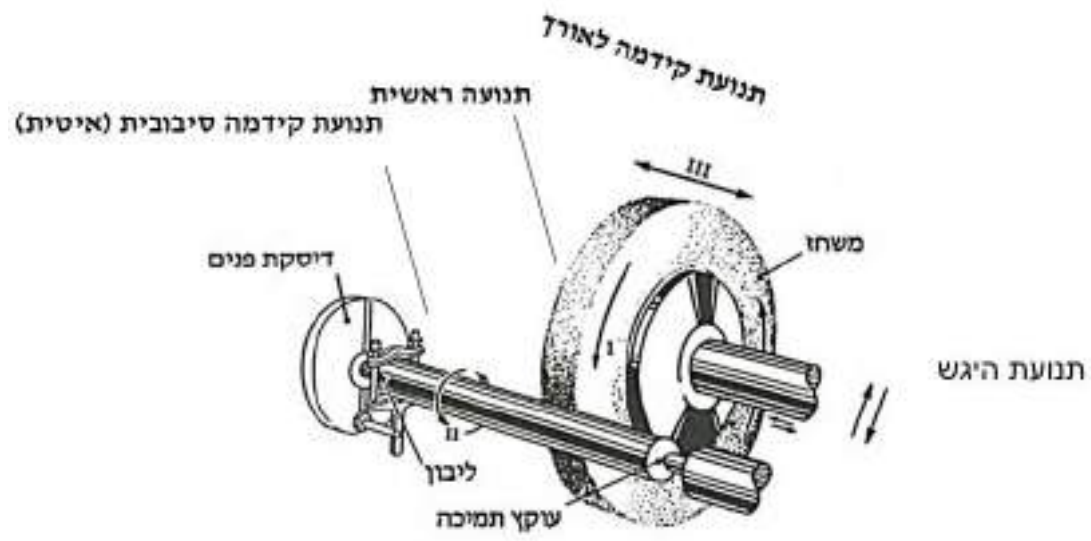
- הצמדה על ידי מגנטיות קבועה
- הצמדה על ידי אלקטרומגנט
- **יתרון:** נוחיות הדפינה, אי פגיעה במשטחים המעובדים, הצמדת חלקים דקים ללא גרימת עיוותים בחלק.

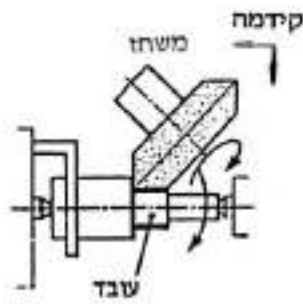
- **חסרון:** דפינה באמצעות משטח מגנטי מתאימה אך ורק לעובדים מחומר פרומגנטי.

הידוק באמצעות תפסנית

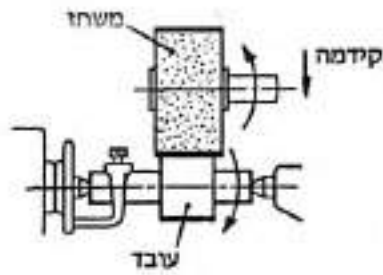


מנגנון שמניע דיסקת פנים, המשלבת הידוק בין העוקצים (כמו בחריטה).

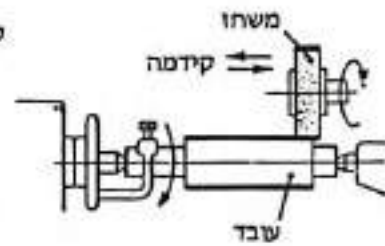




a. השחזת גלילים ומצח



b. השחזת בקידמה רדיאלית



c. השחזת בקידמה צירית

תנועות אופייניות

rpm

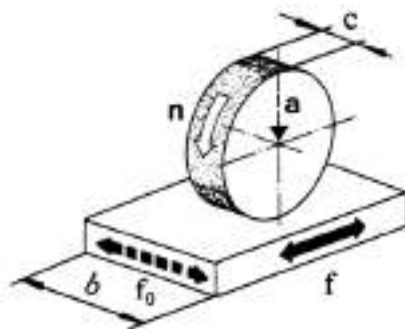
mm/min

mm

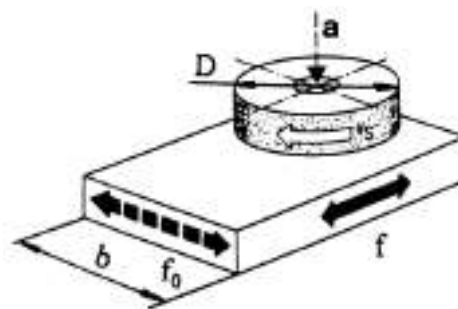
n תנועת סיבוב – תנועה סיבובית של המשחז

f תנועת קדמה – תנועה יחסית של המשחז ביחס לעובד

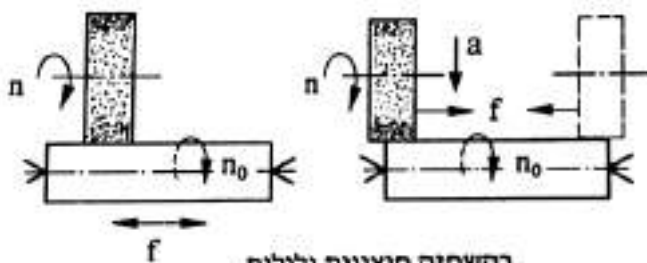
a תנועת היגש – מגדירה את עומק השיבוב שמבצע כלי החיתוך במהלך עבודה אחד



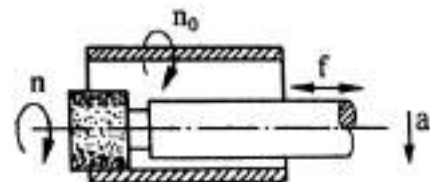
משחז אופקי



השחזת מישורית

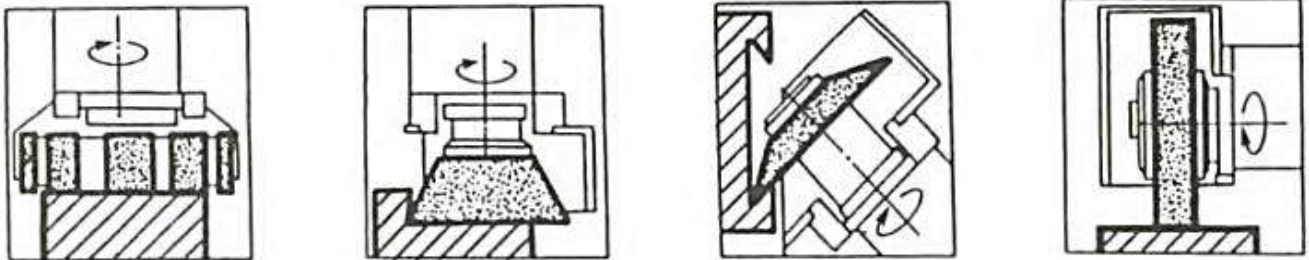


בהשחזת חיצונית גלילית
(שים לב שכיווני הסיבוב מנוגדים)

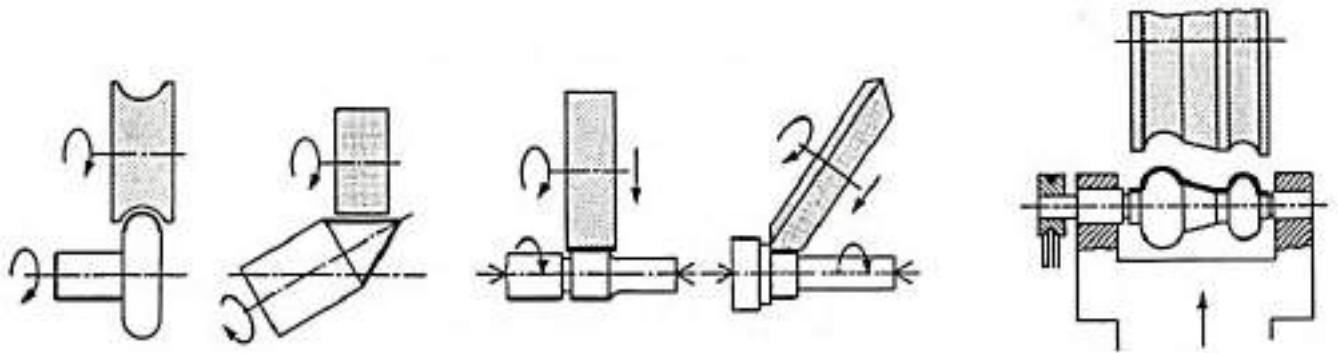


השחזת פנימית גלילית

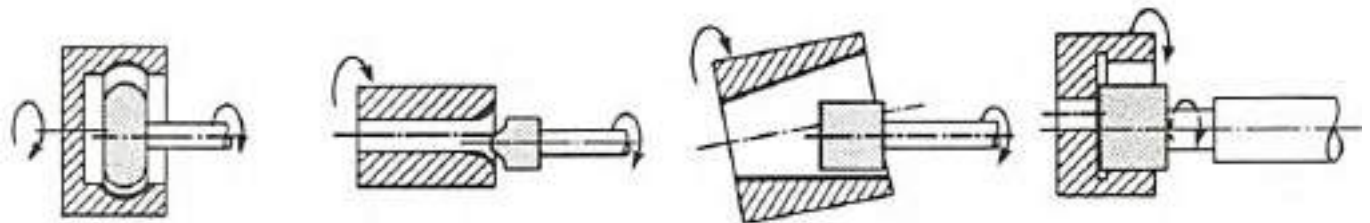
פעולות השחזה



השחזת משטחים ישרים



השחזה גלילית חיצונית

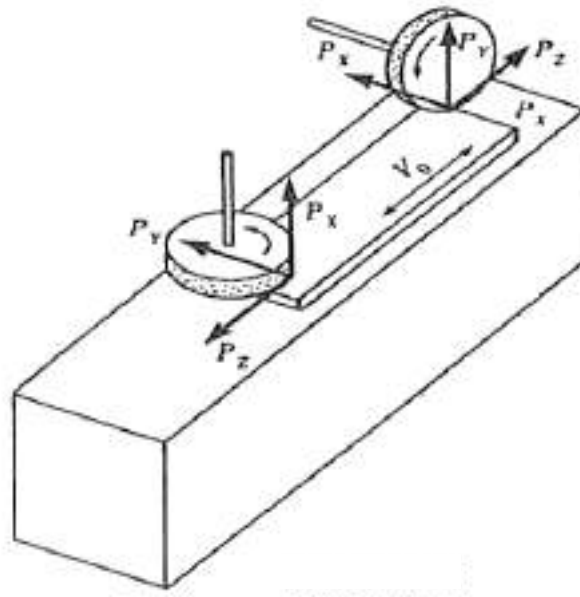


השחזה גלילית פנימית

חישובים בהשחזה

השחזה מישורית

כוחות חיתוך

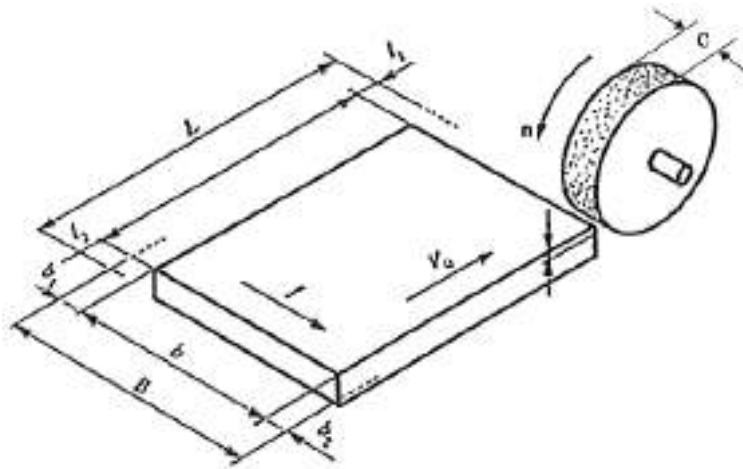


$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}$$

N	רכיב משיקי של כוח החיתוך הגורם להפרדת השבב ¹⁰¹	P_z
N	רכיב רדיאלי של כוח החיתוך, המבטא התנגדות חומר לתנועת הקידמה	P_y
N	כוח צירי הפועל לאורך ציר המשחז ומבטא התנגדות חומר לתנועת ההיגש	P_x

¹⁰¹ גורם למאמצי כפיפה ופיתול בציר המשחז.

זמן השחזה (השחזה הקפית)



$$t_c = \frac{L}{2 \cdot v_0 \cdot 1000} \cdot i$$

t_c	זמן השחזה ישיר	min
L	מהלך העבודה של האופן	mm
v_0	מהירות קידמת העובד	$\frac{mm}{min}$
i	מספר מעברים ¹⁰²	min

$$L = l_1 + l + l_2$$

L	מהלך העבודה של האופן	mm
l_1	תוספת עיבוד לפני השחזה	mm
	לא נתון, הנח: 5 mm	
l	אורך השחזה	mm
l_2	תוספת עיבוד בסיום השחזה	mm
	לא נתון, הנח: 5 mm	

¹⁰² כמה פעמים יש לעבור עם המשחז עד לקבלת המידה

מספר מעברים נדרש

$$i = \frac{B}{c} \cdot k$$

	i	מספר מעברים
	k	מספר שבבים דרושים להגעה למידה סופית
mm	B	מהלך רוחב של האופן
mm	c	רוחב משחז

$$B = b_1 + b + b_2$$

mm	B	מהלך רוחב של האופן
mm	b_1	תוספת עיבוד לפניי השחזה
	$\frac{C}{3}$	לא נתון, הנח:
mm	b	רוחב השחזה
mm	b_2	תוספת עיבוד לאחר השחזה
	$\frac{C}{3}$	לא נתון, הנח:

$$k = \frac{A}{a}$$

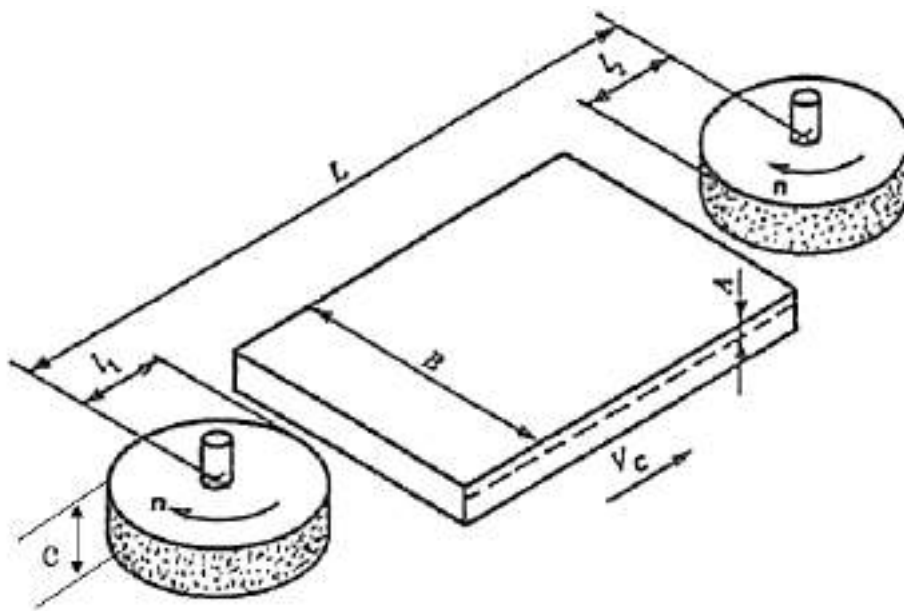
	i	מספר מעברים
	k	מספר שבבים דרושים להגעה למידה סופית
mm	A	עובי החומר להסרה
mm	a	היגש

מהירות קידמת העובד בהשחזה מישורית

$$v_0 = \frac{\pi \cdot D \cdot n_0}{1000}$$

rpm	מספר מחזורי שולחן בדקה	n_0
mm	קוטר משחז	D
$\frac{m}{min}$	מהירות קידמת העובד	v_0

זמן השחזה (השחזה מישורית)



$$t_c = \frac{L}{2 \cdot v_0 \cdot 1000} \cdot i$$

min	זמן השחזה ישיר	t_c
mm	מהלך העבודה של האופן	L
$\frac{m}{min}$	מהירות היקפית של העובד	v_0
	מספר מעברים – כמה פעמים יש לעבור עם המשחז	i

$$L = l_1 + l + l_2 + 10$$

mm	L	מהלך העבודה של האופן
mm	l_1	תוספת עיבוד לפני השחזה
		לא נתון, הנח: $\frac{D}{2}$
mm	D	קוטר האופן
mm	l	אורך השחזה
mm	l_2	תוספת עיבוד בסיום השחזה
		לא נתון, הנח: $\frac{D}{2}$

$$i = \frac{B}{D} \cdot k$$

	i	מספר מעברים
	k	מספר שבבים דרושים להגעה למידה סופית
mm	B	מהלך רוחב של האופן
mm	D	קוטר משחז

$$B = b_1 + b + b_2$$

mm	B	מהלך רוחב של האופן
mm	b_1	תוספת עיבוד לפני השחזה
		לא נתון, הנח: $\frac{C}{3}$
mm	b	רוחב השחזה
mm	b_2	תוספת עיבוד לאחר השחזה
		לא נתון, הנח: $\frac{C}{3}$

$$k = \frac{A}{a}$$

	i	מספר מעברים
	k	מספר שבבים דרושים להגעה למידה סופית
mm	A	עובי החומר להסרה
mm	a	היגש

מהירות הקפית

$$v_0 = \frac{\pi \cdot D \cdot n_0}{1000}$$

n_0 מספר מחזורי השולחן בדקה
 D קוטר המשחזר
 v_0 מהירות קידמת העובד

mm
mm
min

תנאי שיבוב השחזה מישורית

חומר עובד	קשיות	מהירות חיתוך v_c	מהירות קידמה v_0	היגש a גס	גמר f גס	קידמה גס	קידמה גמר
פלדות פחמך	HRC < 48	2000 - 1700	30 - 15	0.075	0.012	$0.25 \times B$	$0.1 \times B$
	48 < HRC < 65	2000 - 1700	30 - 15	0.050	0.012	$0.25 \times B$	$0.1 \times B$
פלדות נתך	HRC < 48	2000 - 1700	30 - 15	0.075	0.012	$0.25 \times B$	$0.1 \times B$
	48 < HRC < 65	1200 - 900	30 - 15	0.050	0.012	$0.25 \times B$	$0.1 \times B$
פלבי"ס	HB < 275	2000 - 1700	30 - 15	0.050	0.012	$0.25 \times B$	$0.1 \times B$
	HB > 275	2000 - 1700	30 - 15	0.025	0.012	$0.25 \times B$	$0.1 \times B$
יציקות פלדה	HRC < 48	2000 - 1700	30 - 15	0.075	0.012	$0.25 \times B$	$0.1 \times B$
	HRC > 48	2000 - 1700	20 - 15	0.050	0.012	$0.25 \times B$	$0.1 \times B$
אלומיניום ונתכים	HB < 150	1800 - 1300	30 - 15	0.075	0.012	$0.30 \times B$	$0.1 \times B$
נחושת ונתכים		2000 - 1700	30 - 15	0.075	0.012	$0.30 \times B$	$0.1 \times B$
נתכי טיטניום		1800 - 1000	15 - 12	0.025	0.012	$0.20 \times B$	$0.1 \times B$

$$v_0 - \left[\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right] \text{ מהירות קידמה}$$

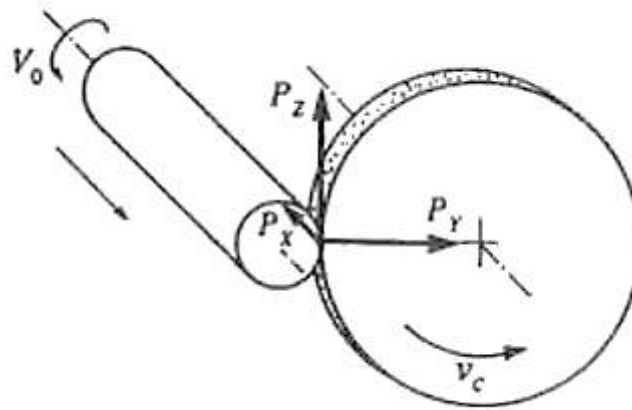
$$f - \left[\frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right] \text{ קידמת רוחב}$$

$$v_c - \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right] \text{ מהירות חיתוך}$$

$$a - [\text{mm}] \text{ היגש}$$

$$B - [\text{mm}] \text{ רוחב כלי}$$

השחזה גלילית



$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}$$

P_z	רכיב משיקי של כוח החיתוך הגורם להפרדת השבב ¹⁰³	N
P_y	רכיב רדיאלי של כוח החיתוך, המבטא התנגדות חומר לתנועת הקידמה ¹⁰⁴	N
P_x	כוח צירי הפועל לאורך ציר המשחז ומבטא התנגדות חומר לתנועת ההיגש	N

$$P_z = 21 \cdot v_0^{0.7} \cdot f^{0.7} \cdot a^{0.6}$$

$$P_y = 42 \cdot v_0^{0.7} \cdot f^{0.7} \cdot a^{0.5}$$

v_0	מהירות היקפית של העובד	$\frac{m}{min}$
a	היגש	mm
f	קידמה קווית של המשחז	$\frac{mm}{rev}$

¹⁰³ גורם למאמצי כפיפה ופיתול בציר המשחז.

¹⁰⁴ חשיבותו גדולה משום שהוא יכול לגרום לעיווי כפיפה בעובדים בעלי קשיחות נמוכה.

הספק

הספק מנוע להנעת האופן

$$H = \frac{P_z \cdot v_c}{1000 \cdot 60 \cdot \eta}$$

kW	הספק ¹⁰⁵	H
N	רכיב משיקי של כוח החיתוך הגורם להפרדת השבב	P _z
$\frac{m}{min}$	מהירות חיתוך (מהירות הקפית)	v _c
	נצילות משחזת	η
	לא נתון, הנח: $\eta = 0.7 - 0.8$	

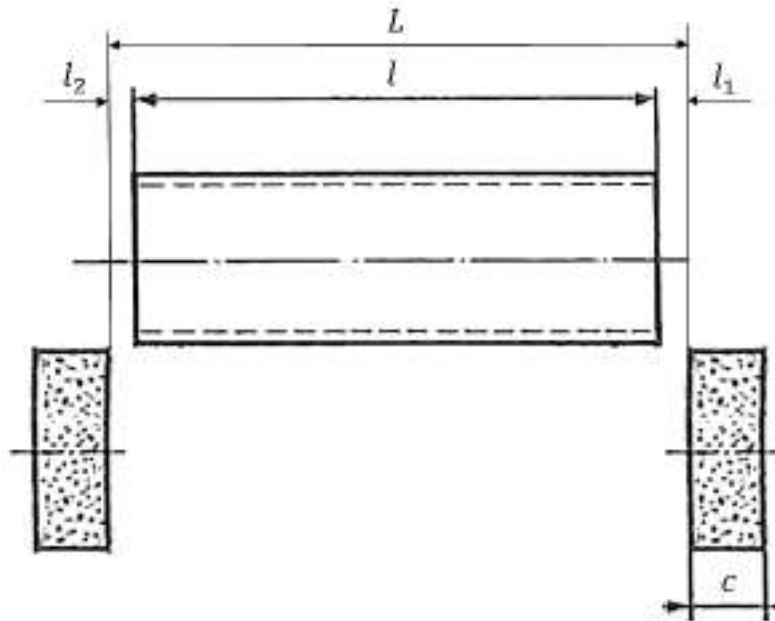
הספק מנוע להנעת העובד

$$H_0 = \frac{P_z \cdot v_0}{1000 \cdot 60 \cdot \eta}$$

kW	הספק מנוע להנעת העובד	H ₀
N	רכיב משיקי של כוח החיתוך הגורם	P _z
$\frac{m}{min}$	מהירות קידמה של העובד	v ₀
	נצילות משחזת	η
	לא נתון, הנח: $\eta = 0.7 - 0.8$	

¹⁰⁵ יתכן והמכללה שלך תעדיף לעשות שימוש באות P (קיצור המילה Power) או באות N לסימון המושג **הספק** הוא יחליף את השימוש באות H..

זמן השחזה



$$t_c = \frac{L}{v_f} \cdot i$$

t_c זמן השחזה ישיר
 L מהלך העבודה על האופן
 v_f מהירות קידמה
 i מספר מעברים¹⁰⁶

$$L = l_1 + l + l_2$$

L מהלך העבודה של האופן
 l_1 תוספת עיבוד לפני השחזה
 c רוחב משחז
 l אורך השחזה
 l_2 תוספת עיבוד בסיום השחזה
 i מספר מעברים¹⁰⁶

¹⁰⁶ כמה פעמים יש לעבור עם המשחז עד לקבלת המידה

מהירות הקפית

$$v_f = f \cdot n_0$$

n_0	מספר מחזורי שולחן בדקה
f	קידמה קווית של המשחז
$\frac{\text{mm}}{\text{rev}}$	
v_f	מהירות קידמת העובד
$\frac{\text{mm}}{\text{min}}$	

$$i = \frac{D - d}{2a}$$

i	מספר מעברים
D	קוטר התחלתי
d	קוטר סופי
a	היגש
mm	
mm	
mm	

תנאי שיבוב השחזה גלילית חיצונית

חומר עובד	קשיות	מהירות חיתוך V_c	מהירות סיבוב עובד V_o	היגש a		קידמה f	
				גס	גמר	גס	גמר
פלדת פחמן	$HRC < 48$	2000 – 1700	30 – 20	0.050	0.012	$0.50 \times B$	$0.15 \times B$
	$48 < HRC < 65$	2000 – 1700	30 – 20	0.050	0.012	$0.25 \times B$	$0.12 \times B$
פלדות נתך	$HRC < 48$	2000 – 1700	30 – 20	0.050	0.012	$0.50 \times B$	$0.15 \times B$
	$48 < HRC < 65$	1200 – 900	30 – 20	0.050	0.012	$0.25 \times B$	$0.12 \times B$
פל"ס	$HB < 275$	2000 – 1700	30 – 15	0.050	0.012	$0.50 \times B$	$0.15 \times B$
	$HB > 275$	2000 – 1700	30 – 15	0.025	0.012	$0.25 \times B$	$0.12 \times B$
יציקות פלדה	$HRC < 48$	2000 – 1700	30 – 20	0.050	0.012	$0.50 \times B$	$0.15 \times B$
	$HRC > 48$	2000 – 1700	30 – 20	0.025	0.012	$0.25 \times B$	$0.1 \times B$
אלומיניום ונתכים	$HB < 150$	2000 – 1700	45 – 20	0.050	0.012	$0.30 \times B$	$0.15 \times B$
נחושת ונתכים		2000 – 1700	30 – 20	0.050	0.012	$0.30 \times B$	$0.15 \times B$
נתכי טיטניום		1800 – 1200	30 – 15	0.025	0.012	$0.20 \times B$	$0.10 \times B$

V_c [m/min] – מהירות חיתוך

V_o [m/min] – מהירות סיבוב העובד

a [mm] – היגש

B [mm] – רוחב המשחז

f [mm/rev] – קידמה

תנאי שיבוב השחזה גלילית פנימית

חומר עובד	קשיות	מהירות חיתוך V_c	מהירות סיבוב V_0 עובד	היגש a גס	היגש a גמל	f גס	קידמה גמל
פלדות פחמך	HRC < 48	2000 - 1500	60 - 25	0.012	0.005	$0.30 \times B$	$0.15 \times B$
	$48 < \text{HRC} < 65$	2000 - 1500	60 - 25	0.012	0.005	$0.30 \times B$	$0.15 \times B$
פלדות נתך	HRC < 48	2000 - 1500	60 - 25	0.012	0.005	$0.30 \times B$	$0.15 \times B$
	$48 < \text{HRC} < 65$	1800 - 1200	60 - 25	0.012	0.005	$0.30 \times B$	$0.15 \times B$
פלבים	HB < 275	2000 - 1500	60 - 25	0.012	0.005	$0.30 \times B$	$0.15 \times B$
	HB > 275	2000 - 1500	45 - 15	0.012	0.005	$0.30 \times B$	$0.15 \times B$
יציקות פלדה	HRC < 48	2000 - 1500	60 - 25	0.012	0.005	$0.30 \times B$	$0.15 \times B$
	HRC > 48	2000 - 1500	60 - 25	0.012	0.005	$0.30 \times B$	$0.15 \times B$
אלומיניום ונתכים	HB < 150	2000 - 1500	60 - 25	0.075	0.005	$0.30 \times B$	$0.15 \times B$
נחושת ונתכים		2000 - 1500	60 - 25	0.050	0.005	$0.30 \times B$	$0.15 \times B$
טכני טיטניום		1800 - 1200	45 - 15	0.012	0.005	$0.30 \times B$	$0.15 \times B$

$$V_0 - \left[\frac{m}{\text{min}} \right] \text{ מהירות קידמה}$$

$$f - \left[\frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right] \text{ קידמת רוחב}$$

$$V_c - \left[\frac{m}{\text{min}} \right] \text{ מהירות חיתוך}$$

$$a - [\text{mm}] \text{ היגש}$$

$$B - [\text{mm}] \text{ רוחב כלי}$$

דוגמה 33

יש לבצע השחזה גלילית לחלק העשוי פלדה SAE 1040 מחוסמת בקוטר $\phi 50.5 \text{ mm}$ בסיום פעולת ההשחזה, יהיה קוטר החלק $\phi 50 \pm 0.01 \text{ mm}$.

נתונים:

$l = 200 \text{ mm}$	אורך עובד
$D = 150 \text{ mm}$	קוטר משחז
$c = 20 \text{ mm}$	רוחב משחז
N5	טיב עיבוד
60 HRC	קשיות חומר עובד
$P_z = 90 \text{ N}$	רכיב אופקי של כוח החיתוך
$\eta = 0.9$	נצילות מכנית של מכונת ההשחזה

דרוש:

- זמן העיבוד של החלק.
- ההספק הנדרש של המנוע המסובב את אופן ההשחזה.
- ההספק הנדרש של המנוע המסובב את העובד.

פתרון דוגמה 33

א. זמן העיבוד של החלק.

תנאי שיבוב

$v_c = 1850 \text{ m/min}$	מהירות חיתוך
$v_f = 25 \text{ m/min}$	מהירות קידמה
$a = 0.05 \text{ mm}$	היגש
$f = 0.25 \cdot c = 0.25 \cdot 20 = 5 \text{ mm/rev}$	קידמה

$$t_c = \frac{L}{v_f} \cdot i$$

$$L = l_1 + l + l_2$$

$$l_1 = l_2 = \frac{c}{3} = \frac{20}{3} \cong 7 \text{ mm}$$

$$L = 7 + 200 + 7 = 214 \text{ mm}$$

$$i = \frac{D - d}{2a} = \frac{50.5 - 50}{2 \cdot 0.05} = 5$$

$$t_c = \frac{L}{v_f} \cdot i = 160 \text{ min}$$

ב. ההספק הנדרש של המנוע המסובב את אופן ההשחזה.

$$H = \frac{P_z \cdot v}{1000 \cdot 60 \cdot \eta} = \frac{90 \cdot 1870}{1000 \cdot 60 \cdot 0.9} = 3.2 \text{ kW}$$

ג. ההספק הנדרש של המנוע המסובב את העובד.

$$H_0 = \frac{P_z \cdot v_0}{1000 \cdot 60 \cdot \eta} = \frac{90 \cdot 25}{1000 \cdot 60 \cdot 0.9} = 0.042 \text{ kW}$$

25. תהליך טכנולוגי

רצף הפעולות **בסדר הנכון** המבוצעות בעובד (חומר הגלם לייצור המוצר) עד לקבלת המוצר המוגמר על פי דרישות שרטוט המוצר, לכן נוכל לכנותם בשם "סדר פעולות" בדומה למרשם להכנת עוגה או תבשיל.

מרכיבי התהליך

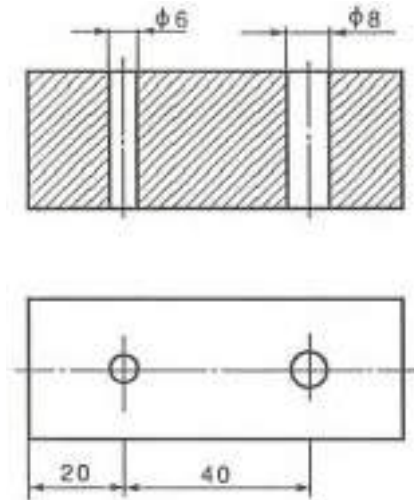
פעולה – מתייחסת לעיבודים המבוצעים בעובד, כל עוד הן מבוצעות על אותה מכונה. הפעולה מסתיימת כאשר העובד עובד למכונה אחת. את הפעולה מקובל לסמן במספר 1 או 0100.

הצבה (דפינה, אמצעי דפינה) – אופן דפינת העובד עבור ביצוע שלבים בעיבוד המוצר (דפינה במלחציים, תפסנית מרכז, מתקן דפינה וכדומה). ההצבה מסתיימת כאשר העובד משנה דפינה. ההצבה מסתיימת כאשר העובד משנה דפינה. את ההצבה מקובל לסמן במספר 1 או 010

שלב – ביצוע פעולת עיבוד מוגדרת ללא שינוי הצבה. מגדיר ביצוע של פרט אחד מתוך המוצר (חריטת מצח, חריטת מדרגה ועוד). לשלב יש מעברים (היגש = עובי שבב) שהם כמות השבבים שיש לבצע עד לקבלת מידה סופית. השלב מסתיים כאשר מסתיימת פעולת עיבוד או כאשר יש שינוי באחד מתנאי העיבוד. את ההצבה מקובל לסמן במספר 1.

דוגמה 34

יש לבצע את שני הקדחים שבאיור.



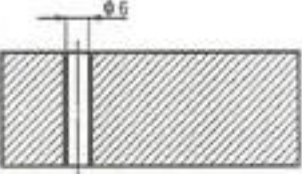
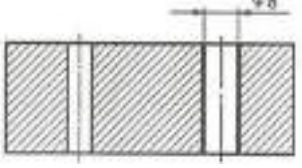
פתרון דוגמה 32

קיימות שתי שיטות ייצור:

ייצור בודד – ביצוע שני הקדחים ברצף על חלק בודד, תוך החלפת מקדחים. בסיום הפעולה מוצא חלק בודד ממכונת העיבוד ומוחלף בחלק חדש. בכל פעולה יש להחליף מקדחים !!!

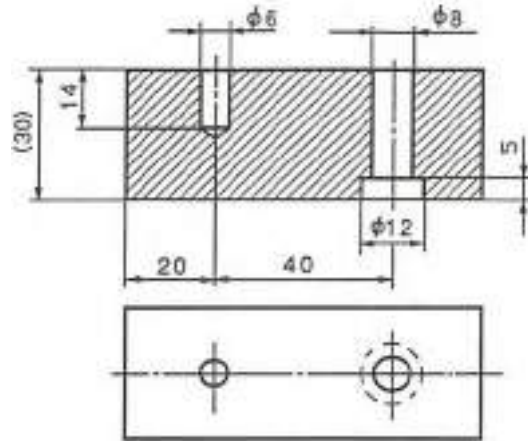
פעולה	הצבה	שלב	תאור התהליך	תרשים עיבוד	כלי עיבוד	אמצעי דפינה
100	10	1	קדיחת מרכז		מקדח מרכז	מלחצי מכונה
		2	קדיחה 6		מקדח 6 מ"מ	
		3	קדיחה 8		מקדח 8 מ"מ	

ייצור סדרתי – בשיטה זו מבצעים שני קדחים קוטר $\phi 6$ בכל חלקי הסדרה, מחליפים מקדח לקוטר $\phi 8$ ומבצעים את הקדחים בכל חלקי הסדרה.

פעולה	הצבה	שלב	תאור התהליך	תרשים עיבוד	כלי עיבוד	אמצעי דפינה
100	10	1	קדיחת מרכז		מקדח מרכז	מלחצי מכונה
	20	1	קדיחה $\phi 6$		מקדח 6 מ"מ	
200	10	1	קדיחה $\phi 8$		מקדח 8 מ"מ	

דוגמה 35

יש לעבד את הקדחים שבאיור.



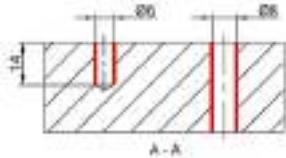
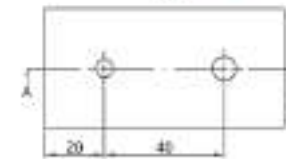
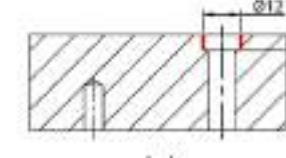
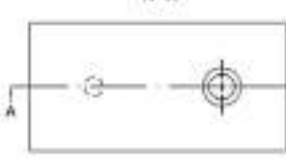
פתרון דוגמה 35

קיימות שתי שיטות ייצור:

ייצור בודד – בשיטה זו נבצע את כל העיבודים בחלק, במכונה אחת ובסיומם יוטען חומר גלם חדש. החלק עוזב את המכונה כאשר הוא מכיל את כל העיבודים. תהליך הייצור כולל שתי דפינות באותה פעולה.

פעולה	הצבה	שלב	תאור התהליך	תרשים עיבוד	כלי עיבוד	אמצעי דפינה
100	10	1	קדיחת מרכז		מקדח מרכז	מלחצי מכונה
		2	קדיחה Ø6		מקדח 6 מ"מ	
		3	קדיחה Ø8		מקדח 8 מ"מ	
	20	1	שיקוע Ø12		כרסום 12 מ"מ	מלחצי מכונה

ייצור סדרתי – בשיטה זו מבצעים באותה קדח קוטר $\phi 6$ וקדח קוטר $\phi 8$ בכל אחד מחלקי הסדרה, ובפעולה הבאה יבוצע רק שקע $\phi 12$ בכל חלקי הסדרה. החלק עוזב את המכונה פעמיים, לכן יש שתי פעולות ובכל פעולה דפינה אחת.

פעולה	הצבה	שלב	תאור התהליך	תרשים עיבוד	כלי עיבוד	אמצעי דפינה
100	10	1	קדיחת מרכז	 	מקדח מרכז	מלחצי מכונה
		2	קדיחה $\phi 6$		מקדח 6 מ"מ	
		3	קדיחה $\phi 8$		מקדח 8 מ"מ	
200	10	1	שיקוע $\phi 12$	 	כרסום 12 מ"מ	מלחצי מכונה

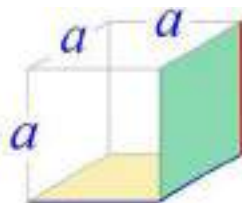
מסת חומר גלם

$$m = \rho \cdot V$$

$\frac{g}{cm^3}$	ρ צפיפות חומר גלם
$2.7 \frac{g}{cm^3}$	אלומיניום (חמרן)
$7.85 \frac{g}{cm^3}$	פלדה
g	m מסת חומר גלם
cm^3	V נפח הגוף
cm	d קוטר לאחר תוספת עיבוד
	תוספת עיבוד לקוטר 2 mm
cm	L אורך חלק לאחר תוספת עיבוד
	תוספת עיבוד לאורך 2.5 mm בכל צד

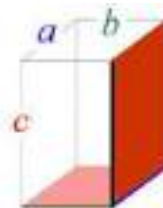
נפחים של צורות שונות

$$V = a^3$$



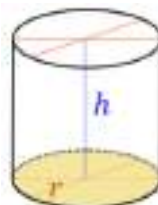
קובייה

$$V = a \cdot b \cdot c$$



תיבה

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h$$



גליל

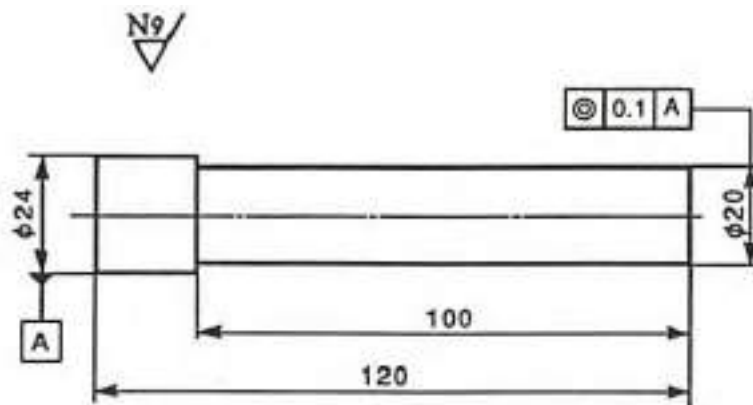
דוגמה 36

יש לתכנן תהליך טכנולוגי לעיבוד החלק המתואר.

חומר גלם: SAE 1020

דיוק: ± 0.2

סוג ייצור: יחיד



פתרון דוגמה 36

שלב 1 – בחירת מידות חומר גלם וחישוב מסתו

מאחר ויש לעבד את כל חומר הגלם (אין אזורי ללא עיבוד) נבחר חומר גלם מוט עגול מלא.

חשוב מאוד !!! לא לשכוח להמיר יחידות לס"מ (לחלק כל מידה במ"מ ב-10)

נוסיף תוספת עיבוד לקוטר 1 מ"מ מכל צד

$$1 + 24 + 1 = 26 \text{ mm} = 2.6 \text{ cm}$$

תוספת עיבוד לאורך 2.5 מכל צד

$$2.5 + 120 + 2.5 = 125 \text{ mm} = 12.5 \text{ cm}$$

דוגמה 36 המשך מעמוד קודם

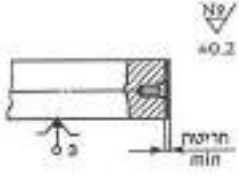
מסת חומר גלם

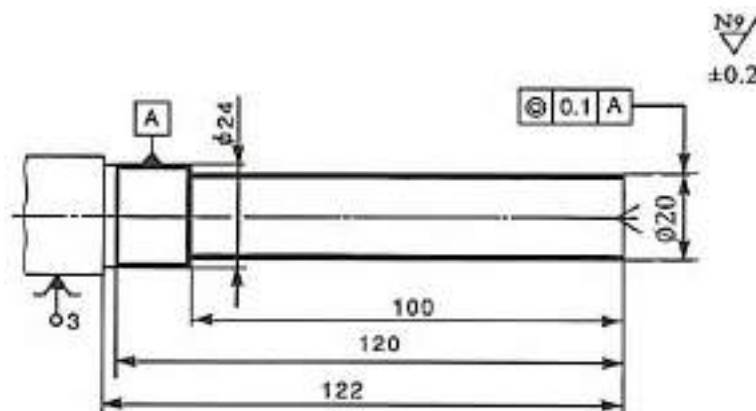
$$m = \rho \cdot V$$

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot 2.6^2}{4} \cdot 12.5 = 66.4 \text{ cm}^3$$

$$m = 7.85 \cdot 66.4 = 521.25 \text{ g} = 0.52 \text{ kg}$$

שלב 2 – תהליך טכנולוגי

פעולה	הצבה	שלב	תאור התהליך	תרשים עיבוד	כלי עיבוד	אמצעי דפינה
100	10	1	חריטת מצח		סכין מצח	תפסנית 3 לחיים
		2	קדח מרכז		מקדח מרכז	
	20	1	חריטת אורך $\varnothing 24 \times 122$	ראה סרטוט מטה	סכין חריטה	תפסנית 3 לחיים + עוקץ
		2	חריטת אורך $\varnothing 20 \times 100$		סכין חריטה	
	30	1	חריטת מצח למידה סופית		סכין מצח	תפסנית 3 לחיים

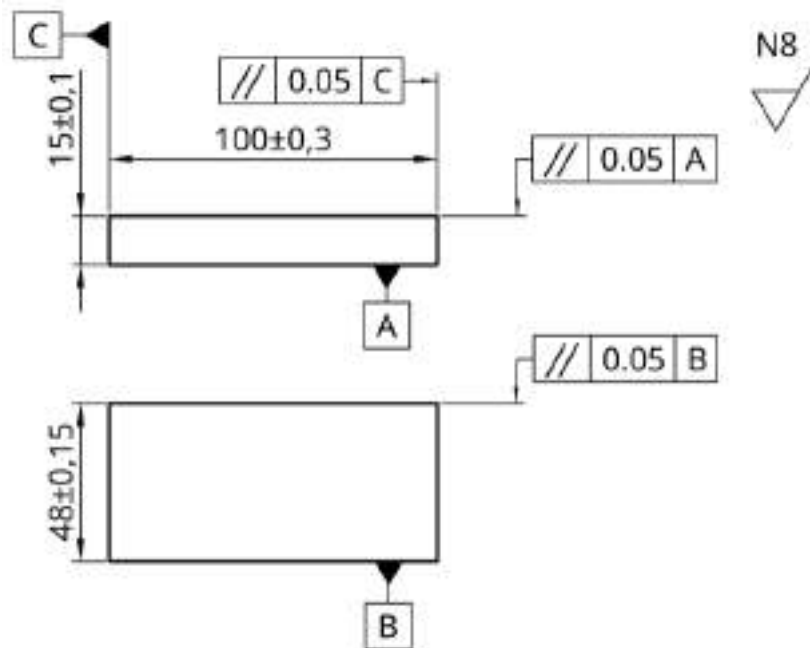


דוגמה 37

יש לייצר מנסרה ¹⁰⁷ במידות המתוארות באיור.

חומר גלם: S235

סוג ייצור: יחיד



¹⁰⁷ זוהי לעיתים הפעולה הראשונית לפני שאר העיבודים.

פתרון דוגמה 37

שלב 1 – בחירת מידות חומר גלם וחישוב מסתו

מאחר ויש לעבד את כל חומר הגלם (אין אזורים ללא עיבוד) נבחר חומר גלם מוט מלבני.

חשוב מאוד !!! לא לשכוח להמיר יחידות לס"מ (לחלק כל מידה במ"מ ב-10)

למידת האורך יש להוסיף תוספת עיבוד 3 מ"מ מכל צד

$$3 + 100 + 3 = 106 \text{ mm} = 10.6 \text{ cm}$$

למידת הרוחב יש להוסיף תוספת עיבוד 1 מ"מ מכל צד

$$1 + 48 + 1 = 50 \text{ mm} = 5 \text{ cm}$$

למידת הגובה יש להוסיף תוספת עיבוד 2 מ"מ מכל צד

$$2 + 15 + 2 = 19 \text{ mm} = 1.9 \text{ cm}$$

מומלץ לקחת חומר גלם מוט שטוח משוך. מוט מלבני אינצי' במידות קרובות המתאים הוא במידות:

$$3/4" \times 2"$$

אותו נחתוך לאורך 106 mm

מסת חומר גלם

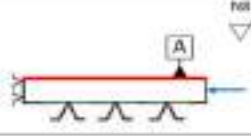
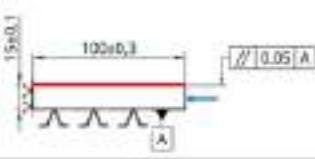
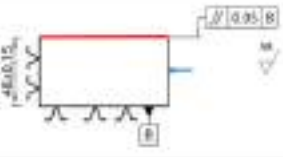
$$m = \rho \cdot V$$

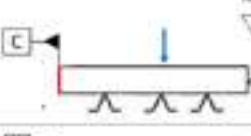
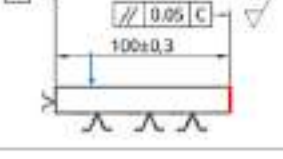
$$V = a \cdot b \cdot c = 5 \cdot 2.5 \cdot 10.6 = 132.5 \text{ cm}^3$$

$$m = 7.85 \cdot 132.5 = 1040 \text{ g} \cong 1 \text{ kg}$$

דוגמה 37 המשך מעמוד קודם

שלב 2 – תהליך טכנולוגי

פעולה	הצבה	שלב	תאור התהליך	תרשים עיבוד	כלי עיבוד	אמצעי דפינה
100	10	1	כרסום מצח שבב מינ' (יצירת משטח מוצא A)		כרסום מצח	מלחצי מכונה
	20	1 2	כרסום גס למידה 15.5 כרסום סופי למידה 15 ± 0.1		כרסום מצח	מלחצי מכונה
	30	1 2	כרסום מצח שבב מינ' (יצירת משטח מוצא B)		כרסום מצח	מלחצי מכונה
	40	1 2	כרסום גס למידה 48.5 כרסום סופי למידה 48 ± 0.15		כרסום מצח	מלחצי מכונה

פעולה	הצבה	שלב	תאור התהליך	תרשים עיבוד	כלי עיבוד	אמצעי דפינה
	50	1	כרסום מצח שבב מינ' (יצירת משטח מוצא C)		כרסום מצח	מלחצי מכונה
	60	1 2	כרסום גס למידה 100.5 כרסום סופי למידה 100 ± 0.3		כרסום מצח	מלחצי מכונה

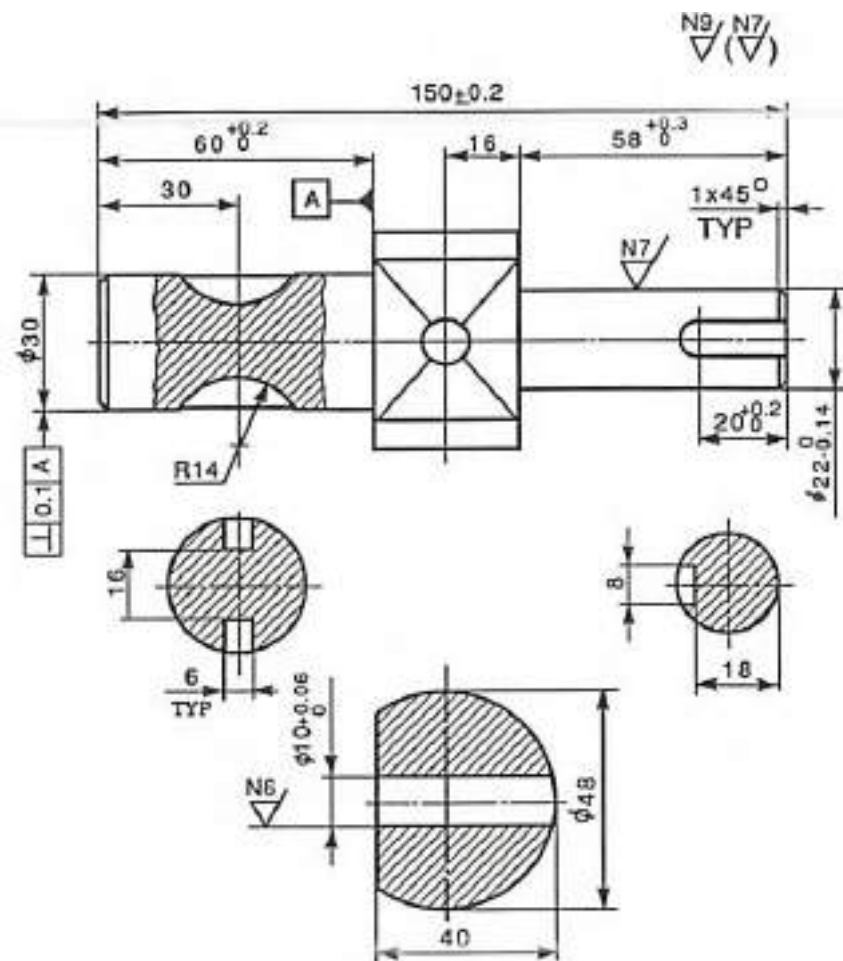
דוגמה 38

יש לייצר את החלק המתואר באיור.

חומר גלם: AL

דיוק: ± 0.2

סוג ייצור: יחיד



פתרון דוגמה 38

שלב 1 – בחירת מידות חומר גלם וחישוב מסתו

מאחר ויש לעבד את כל חומר הגלם (אין אזורים ללא עיבוד) נבחר חומר גלם מוט עגול.

חשוב מאוד !!! לא לשכוח להמיר יחידות לס"מ (לחלק כל מידה במ"מ ב-10)

למידת הקוטר יש להוסיף תוספת עיבוד 1 מ"מ מכל צד

$$1 + 48 + 1 = 50 \text{ mm} = 5 \text{ cm}$$

למידת האורך יש להוסיף תוספת עיבוד 2.5 מ"מ מכל צד

$$2.5 + 150 + 2.5 = 155 \text{ mm} = 15.5 \text{ cm}$$

מומלץ לקחת חומר גלם מוט עגול משוך. מוט עגול אינצי" 2

אותו נחתוך לאורך 155 mm

מסת חומר גלם

$$m = \rho \cdot V$$

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot 5^2}{4} \cdot 15.5 = 304.5 \text{ cm}^3$$

$$m = 7.85 \cdot 304.5 = 2390.5 \text{ g} \cong 2.4 \text{ kg}$$

דוגמה 38 המשך מעמוד קודם

שלב 2 – תהליך טכנולוגי

פעולה	הצבה	שלב	תאור התהליך	תרשים עיבוד	כלי עיבוד	אמצעי דפינה
100	10	1	חריטת מצח שבב מיל		סכין מצח	תפסנית 3 לחיים
		2	חריטת אורך $\varnothing 48 \pm 0.1$		סכין חריטה	
		3	חריטת אורך $\varnothing 30 \pm 0.1$		סכין חריטה	
		4	חריטת מדר		סכין חריטה	
	20	1	חריטת מצח 150 ± 0.2		סכין מצח	תפסנית 3 לחיים
		2	חריטת אורך $\varnothing 22.5$		סכין חריטה	
		3	חריטת אורך $\varnothing 22 \pm 0.14$		סכין חריטה	
		4	חריטת מדר		סכין חריטה	

פעולה	הצבה	שלב	תאור התהליך	תרשים עיבוד	כלי עיבוד	אמצעי דפינה
200	10	1	כרסום משטח על $\varnothing 48$		כרסום קנה $\varnothing 40$	פריזמה
		2	קידוח הדרגתי $\varnothing 9.7$		מקדח	
		3	קידוד $\varnothing 10 \pm 0.06$		מקודד	
		4	כרסום חריץ לשגם		כרסום קנה $\varnothing 8$	
300	10	1	חריץ לשגם $\varnothing 18$		כרסום דיסק	ראש מחלק ועוקץ
	20	1	חריץ לשגם $\varnothing 18$		כרסום דיסק	

26. עיבודי גמר

חירוק חיצוני (Super Finish)

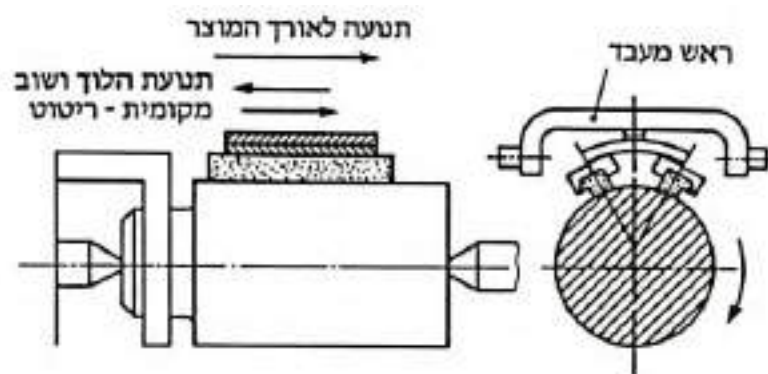
שיטת גמר עדינה במיוחד עבור משטחים גליליים חיצוניים. העיבוד נעשה באמצעות ראש מעבד בעל חלקיקים שוחקים.

תנועות כלי ועובד

תנועה סיבובית של העובד

תנועה קווית של ראש מעבד – תנועה לאורך המשטח המעובד

תנועת ריטוט – תנועה הלך ושוב במהלך קצר (2 – 6 mm) ובמספר מחזורים גדול (400/min – 1000/min)



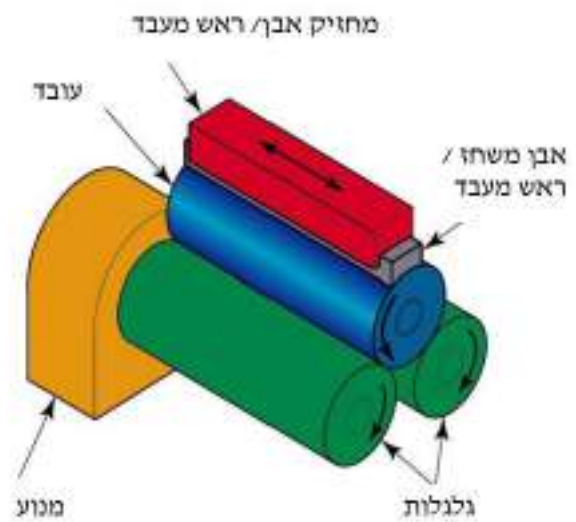
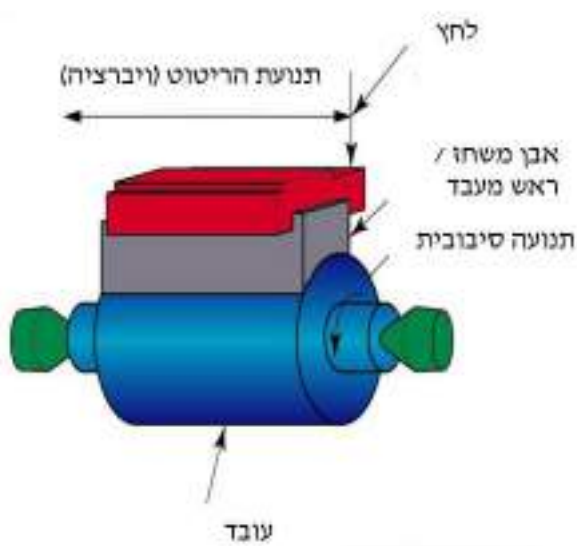
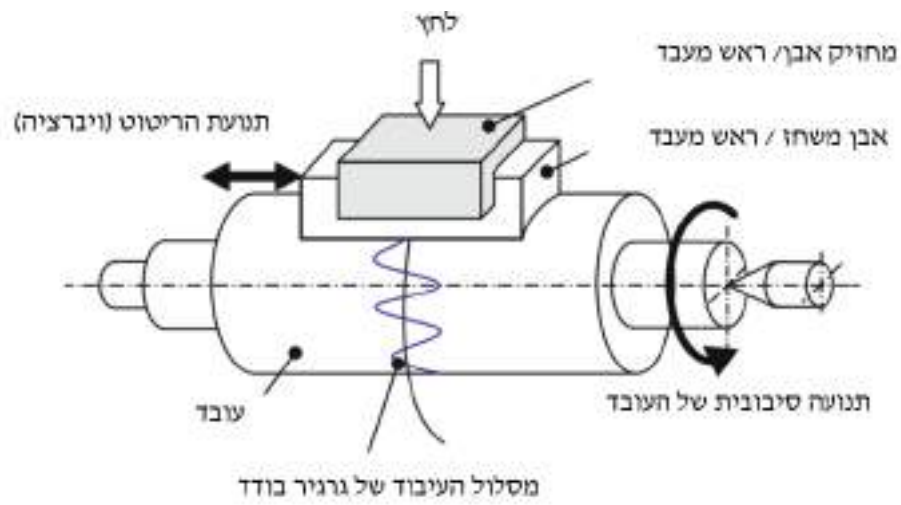
עקרון פעולה

המערכת הקינמטית מתאמת בין תנועות התהליך כך שגרגיר מסוים של הכלי לעולם לא יעבוד פעמיים באותו מסלול.

לחץ הכלי על המשטח המעובד קטן, לכן המשטח אינו מתחמם

נעשית רק הורדת בליטות שנשארו לאחר פעולות שיבוב קודמות (שכבה בעובי 0.02 – 0.05 mm)

מידת החספוס עומדת על $R_A = 0.04 \mu m$, אבל העיבוד אינו מאפשר לתקן דיוק צורה גיאומטרי.



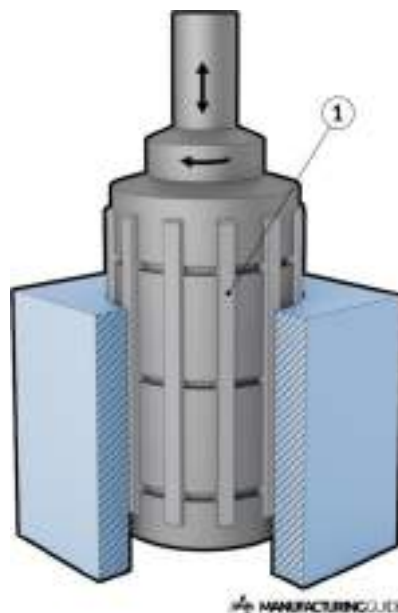
חירוק פנימי (Honing)

עיבוד גמר, המשמש לעיבוד סופי של קדחים באמצעות ראש העיבוד (בהתאם לקוטרו) העשוי 3 עד 12 משחזים מנסרתיים, הבאים במגע עם המשטח המעובד.

תנועות כלי ועובד

תנועה סיבובית של הכלי

תנועה קווית לאורך הקדח (לעיתים גם העובד נע בתנועה קווית)

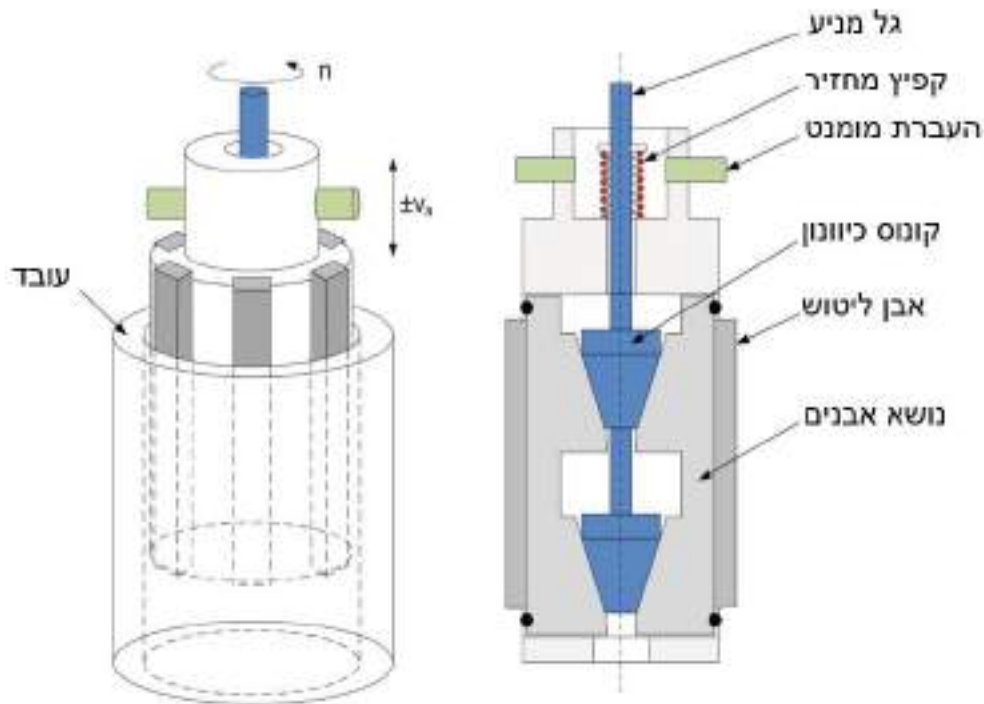


המשחזים עשויים גרגרי אלקטרוקורונד (לעיבוד פלדות) או גרגרי קרביד צורן (לעיבוד יציקות ברזל). גודל הגרגרים קטן ביותר (600 ומעלה) ואפשר להשתמש באבקת יהלום בגודל חצי מיקרון בערך.

עקרון פעולה

כלי המירוק עשוי מוט מרכזי עליו מהודקים המשחזים המנסרתיים, בדומה למקודד מתכוונן. סגירת הקונוסים מזיז את המשחזים רדיאלית עד למידה הדרושה לעיבוד.

מידת החספוס עומדת על $R_A = 0.1 \mu m$



ליטוש (Lapping)

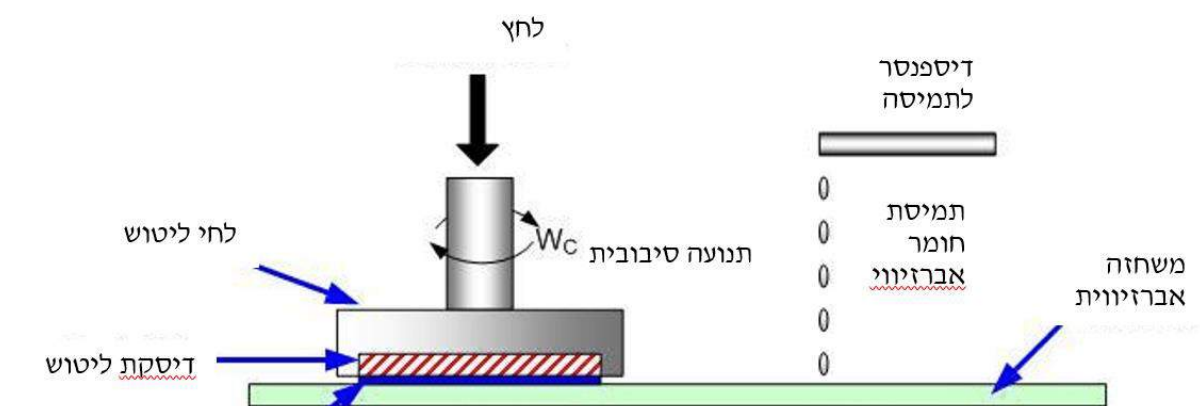
נעשה שימוש במשחת אבקה שוחקת עם שמן הנלחצת בין הכלי והמוצר. האבקה עשויה גרעינים עדינים ביותר של קרביד הצורן, תחמוצת אלומיניום, קרביד הבור או אבקת יהלום. לאבקה מוסיפים שמן או נוזל מלכד אחר.

תנועת הכלי והעובד

שפשף הכלי המרוח במשחה והנעתו בכיוונים שונים על פני העובד. בזמן השפשוף לודרים הגרגרים אל פני הכלי המעבד ויוצרים כלי רב להבי.

עקרון פעולה

לאחר השחזת העובד, משאירים שכבה דקה מאד לגימור ומגיעים לדיוק $0.02 \mu m$.

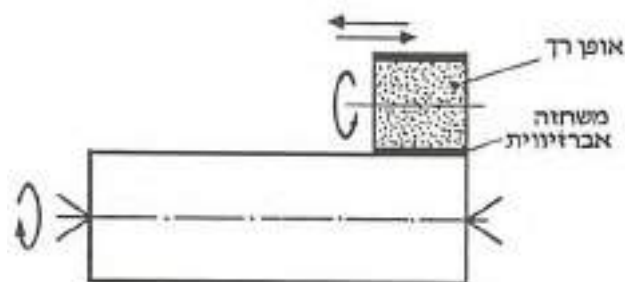


הליטוש משמש להכנת מדדי גבול, כלי מדידה מדויקים, חלקי מתזים, פיות, מחטי ויסות, תושבות שסתומים ועוד.

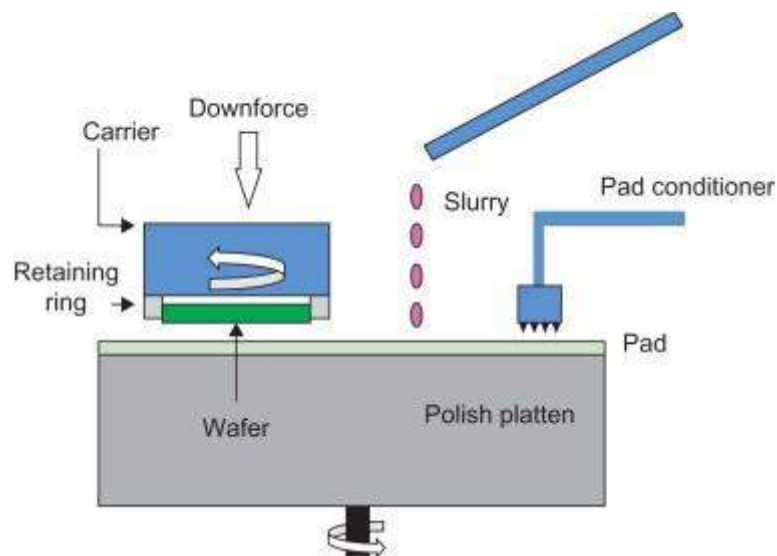
בירוק (Polishing)

תהליך עיבוד עדין של משטחים באמצעות אופנים רכים המצופים באבקה אברזיווית המעורבבת בשמן. התהליך מקטין את חספוס המשטח אבל אינו משפר דיוק מידות או ורה גיאומטרית.

תנועות כלי ועובד



עיקרון פעולה



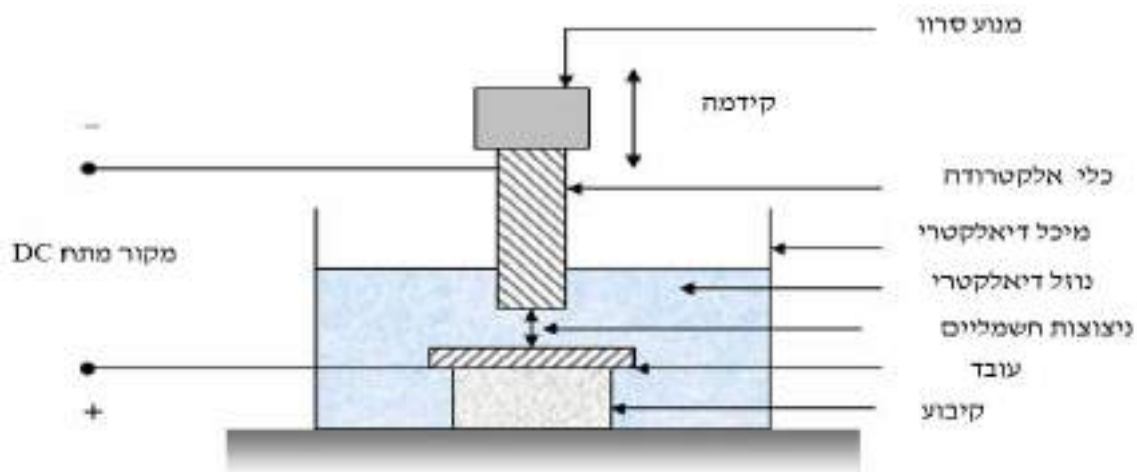
27. שיטות עיבוד חדישות

עיבוד גיצי (EDM)

Electrical Discharge Machining

עקרון פיזיקלי

יצירת ניצוצות חשמליים (קשת חשמלית) במרווח שבין העובד והכלי. העובד והכלי טבולים בנוזל דיאלקטרי, והניצוצות נוצרות בתוך הנוזל. כל ניצוץ מייצר כמות גבוהה של חום המשמש להתכה ואידוי של חומר מעובד. תפקיד הנוזל להעביר את הניצוץ, לצנן את העובד ולשטוף את השבבים.



החומר חייב להיות מוליך חשמלי ליצירת המעגל החשמלי. כלי העיבוד (קתודה) עשוי גרפית, נתך טונגסטן-נחושת, אבץ, וולפרם או מוליבדן ומהווה העתק הפוך של הצורה שיש לקבל במוצר.

הסרת חומר העובד באמצעות רצף התפרקויות חשמליות המתהוות במרווח שבין העובד (אנודה) לכלי (קתודה). ההתפרקויות נוצרות בתוך נוזל דיאלקטרי הזורם וממלא את מרווח ההתפרקות ומתהוות ברגע שמתח העבודה חזק מספיק. חום ההתפרקות פוגע בפני העובד וגורם להתכה מקומית. הטיפה המותכת עוברת אל הנוזל הדיאלקטרי, שם היא מתמצקת ומורחקת מאזור העיבוד.

שימושים

- עיבוד גאומטריה שלא ניתנת לביצוע בעיבוד שבבי 'רגיל'.
- חיתוך חריצים צרים
- חיתוך חללים בטבעים ובמבלטים
- חיתוך חומרים קשים
- הוצאת כלי שבור מקדחים
- עיבוד כלי שיבוב
- חריטה אומנותית

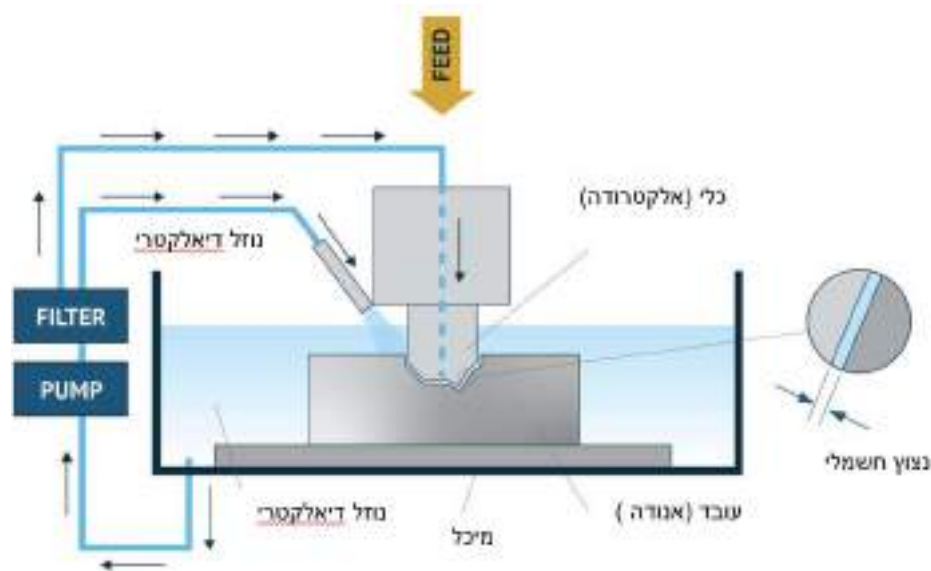
יתרונות / חסרונות

- עיבוד מתכות קשות מוליכות חשמל בעלות כושר שיבוב גרוע.
- קבלת צורות מורכבות ומסובכות בגדלים שונים.
- דיוק ± 0.01
- טיב עיבוד: מתק"ש N4, פלדות N3.
- האלקטרודה נאכלת במהירות
- נדרשות מספר אלקטרודות לעיבוד מוצר בודד
- מהירות הרחקה נמוכה (1 cm/min).
- במהלך התהליך יש לדאוג לשטיפה וצינון החלק המעובד
- לא ניתן לעבד חומר שאינו מוליך חשמל.



שיקוע

בתהליך השיקוע מתקבלת הצורה התלת ממדית של הכלי המושקע בתוך חומר העובד. כדי למנוע שחיקה או אכילה של הכלי (אלקטרודה) נעזרים במחוללים (גנרטורים) מיוחדים המונעים או מקטינים את השחיקה.

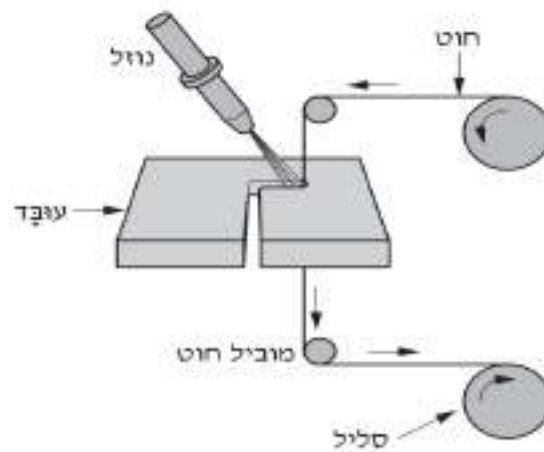


- במכונות מתקדמות יש אפשרות שהכלי (אלקטרודה) ינוע במרחב, בשלושה צירים. כיום מסוגלות מכונות (EDM) לעבוד באופן רציף עשרות שעות בלי התערבות של המפעיל. למכונה יש מתקן להחלפה אוטומטית של אלקטרודות בקיבולת של כ-28 אלקטרודות וכן רובוט החלפת חלקים המעובדים.
- הכלים עשויים לרוב מגרפיט, וולפרם ומסגי נחושת. טיב המתקבל בעיבוד מתק"ש N4 ובפלדות N3.
- במהלך התהליך יש לדאוג לשטיפה וצינון החלק המעובד.

חיתוך בחוט

תהליך החיתוך בחוט מתבצע בעזרת חוט העשוי פליז (ברוב המקרים) שקוטרו 0.05 עד 0.5 מ"מ, כאשר יש אפשרות לחוט עם ציפוי המאפשר משך חיי חוט ארוך יותר. קצב התקדמות החוט הוא איטי (מ"מ בודדים בדקה). גם במקרה זה טבולים העובד והחוט בתוך נוזל (מים מזוקקים מרוככים).

- יש אפשרות להטות את החוט בזווית שבין 15° - 30° .
- אם רוצים לעשות חיתוך פנימי יש לבצע קדח מקדים
- בחומר ולהשחיל את החוט בתוך הקדח.



עיבוד כימי-חשמלי (ECM)

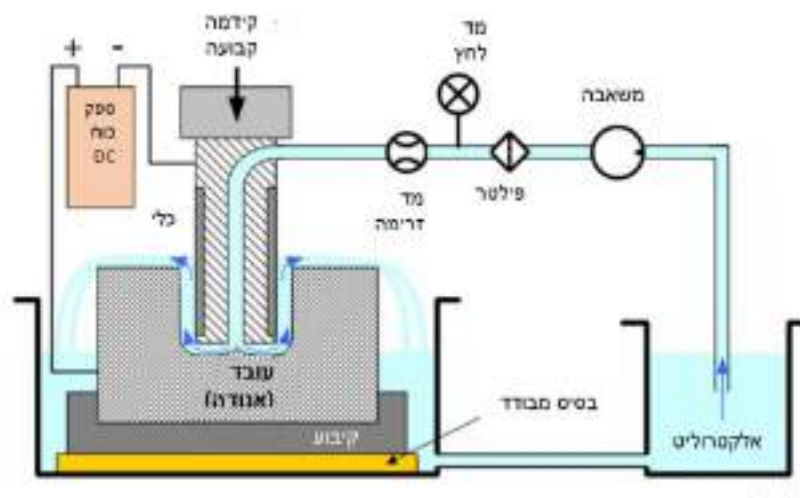
Electrochemical Machining

תהליך זה דומה במטרתו ובמראהו לתהליך העיבוד הגיצי (EDM). השוני ביניהם הוא בעקרון הפעולה, ביעילות ובשימוש. גם כאן הכלי הוא העתק הפוך של הצורה שיש לקבל בחלק.

עקרון פיזיקלי

השיטה מבוססת על תא גלווני. בתהליך מחובר הכלי (אלקטרודה) לקתודה, והחומר המעובד מחובר לאנודה ושניהם טבולים בתוך אלקטרוליט. תגובה כימית הנוצרת בין החומר ובין הכלי תוקפת את החומר המעובד בצורה מבוקרת, כאשר קצב ההסרה, טיב פני השטח ודיוק העיבוד נקבעים על-ידי מתח, זרם וקידמת העיבוד.

תפקיד הנוזל לסייע בתגובה הכימית, לצנן את העובד ולהרחיק חלקיקים נפרשים.



שימושים

עיבוד קדחים צורתיים קטנים וארוכים עיבוד חלקים דקים ועיבוד מתכות קשות.

יתרונות / חסרונות

- קצב הרכקת חומר מהיר מ-EDM.
- טמפרטורת עבודה שווה לטמפרטורת החדר, ולכן לא נוצרים מאמצים ושינויי מבנה בגוף המעובד.
- כלי העיבוד כמעט ואינו מתבלה
- ניתן לקבל צורות מסובכות בשלב עיבוד אחד.
- צריכת חשמל גדולה
- אין אפשרות לקבל זוויות חדות

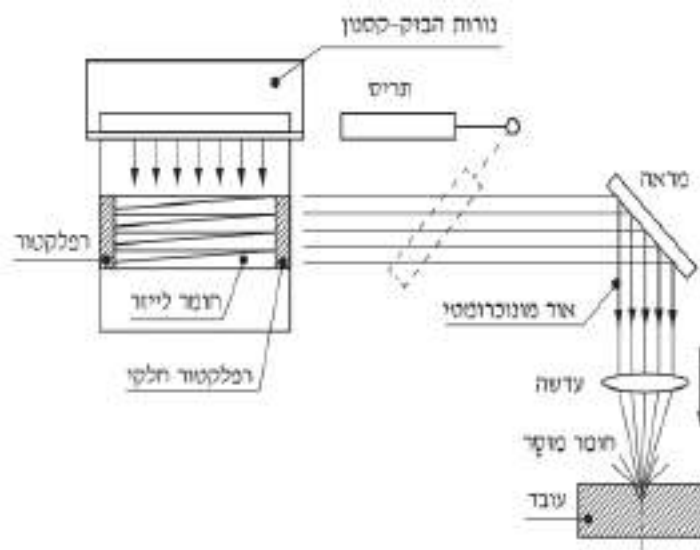


עיבוד בקרני לייזר (LBM)

Laser Beam Machining

עקרון פיזיקלי

כאשר אלקטרון עובר מסלול בעל אנרגיה נמוכה הוא מפריש אנרגיית קרינה או קרן לייזר, ואנרגיה זו מרוכזת בעזרת מראות ועדשות לעבר החומר המעובד.



שימושים

- עיבוד קדחים זעירים בקוטר קטן
- חיתוך פחים
- ריתוך, הלחמה, חימום מקומי ועוד
- עיבוד מוצרי יהלום, נתכים קשיי עיבוד, גומי, עץ, קרטון, בד.
- עיבוד מקומות קשיי גישה
- עיבוד משטחים נטויים

יתרונות / חסרונות

- ריתוך חומרים בעלי תכונות מנוגדות
- ריתוך מקומות קשיי גישה
- קידוח קטרים מ-0.05 mm
- חיתוך צר בעל השפעות תרמיות זניחות
- עיבוד חומרים מתכתיים ואל-מתכתיים
- אין מגע בין החומר המעובד לכלי המעבד
- נצילות נמוכה
- נדרש שימוש בצידוד מגן להגנה על המשתמש
- לא ניתן לחתוך חומרים העלולים להיפגע בהשפעת חום



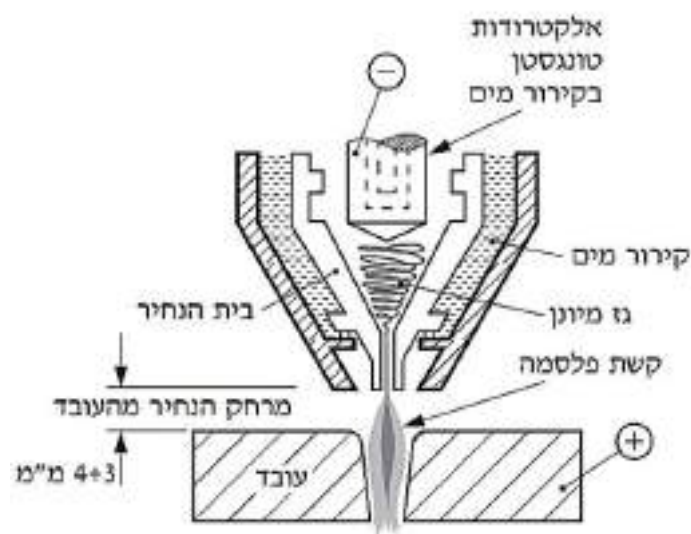
עיבוד בפלזמה (PAM)

Plasma Arc Machining

עקרונות פעולה

קשת הפלזמה זו קשת חשמלית בעלת צפיפות זרם גדולה העטופה בסילון גזים מיוניים בעל אנרגיה קינטית וטמפרטורת גבוהות.

תחילה יוצרים באמצעות יחידה לתדר גבוה קשת עזר פנימית בין אלקטרודות טונגסטן (קתודה) ונחיר הצרה (אנודה) העשוי נחושת. לאחר התייצבות הקשת מקרבים את המבער לעובד, הקשת עוברת מהמבער אל העובד, קשת העזר נפסקת והמעגל העיקרי המספק את מלוא הספק התהליך נכנס לפעולה. העובד נדפן במתקן סיבובי ואילו המבער מוסע במרחק קבוע מפני העובד ובמהירות קדמה מתאימה, אגב יצירת "זווית חיתוך" הדרושה לסילוק החומר הנוזל המוסר.



שימושים

- עיבוד גסים של חומרים קשיי עיבוד
- חיתוך פלטות עבות העשויים אלומיניום, פלב"מ ונחושת
- ריתוך
- עיבוד מוצרי יהלום, נתכים קשיי עיבוד, גומי, עץ, קרטון, בד.
- מקומות בעלי קשיי גישה
- משטחים נטויים

יתרונות / חסרונות

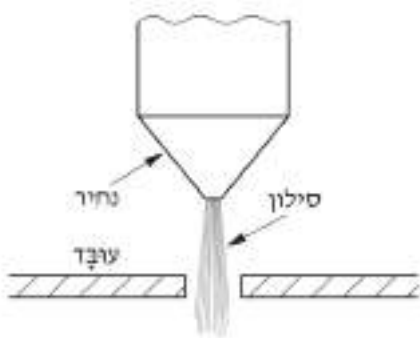
- מהירות חיתוך גבוהה $25 \div 180 \text{ cm/min}$
- אין כוחות עיבוד ומגע בין הכלי לעובד
- חיתוך מגנזיום, טיטניום, נחושת וניקל
- עלות ציוד גבוהה
- דיוק נמוך
- טיב שטח גס
- השפעות תרמיות בלתי רצויות
- ניתן לחתוך רק חומרים מוליכים



חיתוך במים (WJC)

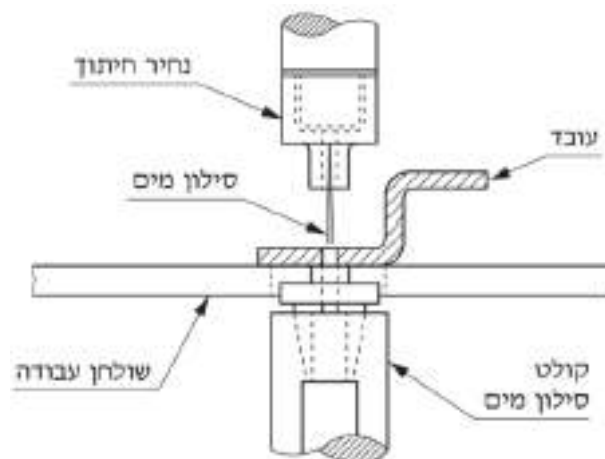
עקרון פעולה

חלקיקי המים מקבלים מהירות ותאוצה גדולים על ידי העברת כמות מים דרך נחיר חיתוך (קוטר הנחיר $0.1 \text{ mm} \div 0.3 \text{ mm}$). הלחץ האדיר פוגע בחומר וחותר אותו. לחץ המים פוגע באזור קטן ביותר בחומר, בו מתפתחים סדקים קטנים. סילון המים שוטף את החלקיקים שנוצרים כתוצאה מהחיתוך והסדקים מתפתחים ומתקדמים בחומר עד לחיתוך החומר לגמרי.



תוספת של חומרים פולימרים משפרת את טיב בחיתוך ואת מהירות החיתוך. החומרים הפולימרים משמשים לחיתוך נייר, קרטון, עץ, גומי, בד ועוד.

שילוב חומרים אברזיבים (מים + חומרים שוחקים) לתא ערבוב הנמצא הנחיר חיתוך מיוחד מאפשר חיתוך חומרים קשים, הגברת קצב החיתוך וכן ניקוי משטחים על ידי תהליך השחזה.



שימושים

- מפעלי יציקה – הורדת שאריות וקצוות.
- עיבוד חומרים קשים, פלסטיים מורכבים
- תעשיית השיש – חיתוך צורות שונות של שיש
- חיתוך חומרים רכים, זכוכית, אסבסט, גומי ועוד.

יתרונות / חסרונות

- אין חימום של החלק בזמן העיבוד
- על העובד פועל כוח מינימלי בזמן החיתוך
- חיתוך נקי לחלוטין בלי שאריות או זיהומים
- חיתוך חומרים שונים
- אובדן חומר מזערי
- טיב פני שטח טוב
- עלות ציוד גבוהה
- המערכת רועשת בעוצמה חריגה
- דרושה מערכת לקליטת סילון המים הנפלט
- **נדרש למגן את המשתמש**



עיבוד על קולי / אולטרסוני (U.S.M.)

Ultrasonic Machining

העיבוד העל קולי מבוסס על פעולת השחיקה של החומר על ידי כלי רוטט בתדירות גבוהה מאד.

עקרון פעולה

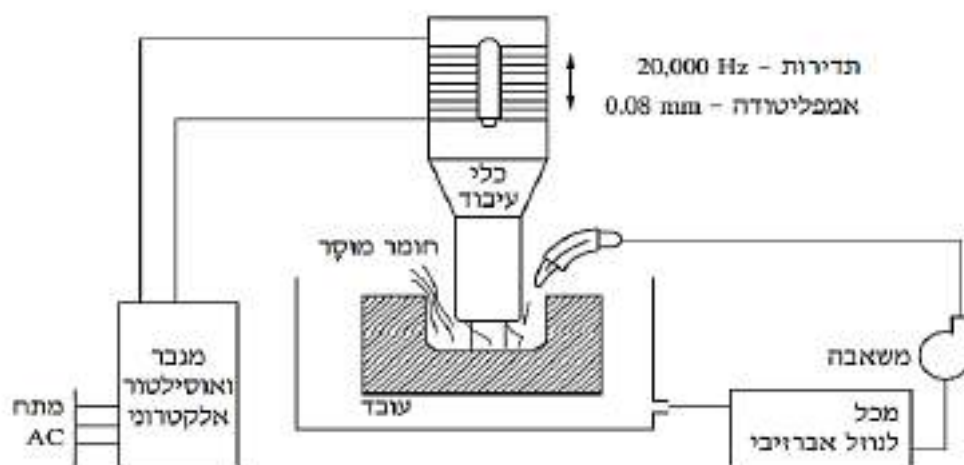
משתמשים בחלקיקים שוחקים של קרביד הבור (B_4C) או קרביד הצורן (SiC) או אלומיניום (AlO_3) היוצרים "דייסה" נוזלית עם המים.

דייסה זו מצויה במרווח צר, שנוצר בין הכלי והעובד. הכלי מקבל תנועת ריטוט עד כ- 20000 מחזורים בשנייה.

הרטט מושג בעזרת שדה מגנטי מתחלף.

הכלי מתקדם אל תוך החומר המעובד ומוסר לו את צורתו בעזרת חלקיקים המורידים את השבבים.

חומר הכלי הוא פלדה דלת פחמן.



שימושים

- עיבוד חומרים קשים ופריכים מתכתיים ואל-מתכתיים כגון: זכוכית, קרמיקה, קוורץ וקרבידים של חומרים קשים.
- קדיחה חורים עגולים, חיתוך חתכים מסובכים
- תברוג
- שקעים בעלי פינות חדות

יתרונות / חסרונות

- עיבוד חומרים קשים מאד ופריכים, מוליכי חשמל ושאינם מוליכי חשמל
- קבלת חללים של צורות מסובכות
- מתקבלים חתכים ללא צילוע
- סיבולת גבוהה עד 0.0123 מ"מ
- קצב הרחקת החומר נמוך 0.25 עד 3.7 מ"מ עובי לדקה
- מחיר מכונה גבוה
- אין אפשרות לקבל חללים עמוקים אלה שטוחים בלבד.



עיבוד בקרן אלקטרוניים (E.B.M.)

Electrical Beam Machining

השיטה מזכירה מעט את שיטת הצריבה של העץ בעזרת עדשה המרכזת את קרני השמש בנקודה מסוימת.

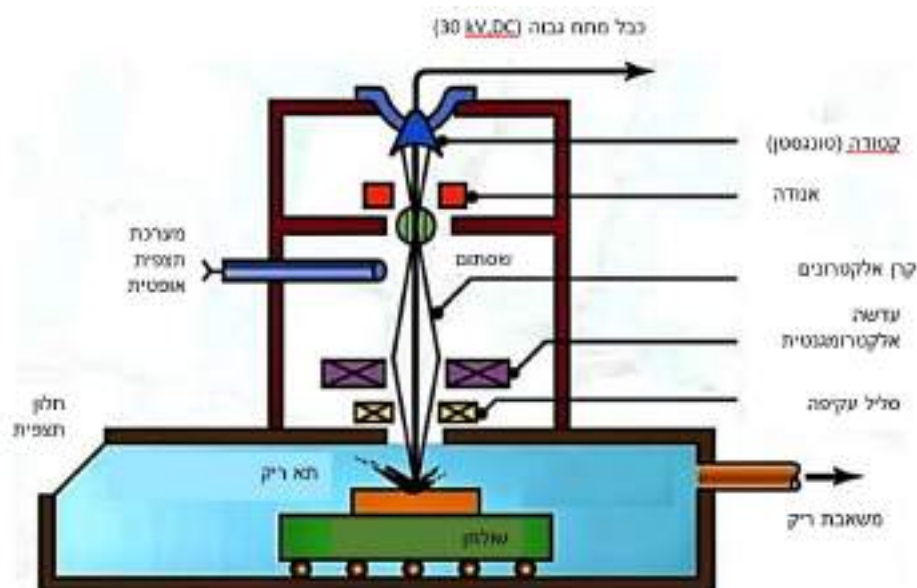
השיטה מבוססת על ריכוז מקומי, בגודל מיקרוסקופי, של חום גבוה. הריכוז הוא כזה גבוה שהחימום כמעט אינו משפיע על המבנה הגרעיני של החומר הסמוך למקום העיבוד (ההשפעה התרמית של התהליך זניחה ואינה ניתנת להבחנה כבר במרחק של 0.03 מ"מ מאזור העיבוד).

כמו כן כמות החום הנוצרת היא גבוהה ביותר ומספיקה להתיר כל חומר.

על ידי ויסות לכמות חום קטנה יותר ניתן להשתמש בתהליך זה לצורך ריתוך מסגים שאין אפשרות לרתכם בשיטות המקובלות, כגון: פלדות עשירות פחמן, מסגי אלומיניום ומגנזיום הניתנים לטיפול תרמי.

עקרון פעולה

משתמשים בקרן מרוכזת של אלקטרונים הנעים במהירות גבוהה אל העובד. קרן האלקטרונים מחוממת לטמפרטורה של 2500 מעלות צלסיוס, כתוצאה מכך נוצרת אנרגיה קינטית ההופכת לחום ומאדה כמות קטנה של החומר מהעובד. האלקטרונים מגיעים לעובד במירות גבוהה והאידיוי של חומר העובד הוא מיידי.



שימושים

- ניתן להשיג בצורה וצורות שאין אפשרות לקבלם בשיטה אחרת, כגון: חורים זעירים ומדויקים, חללים במקומות שהגישה אליהם קשה, חריצים עדינים במוצרים אווירונאוטים ולריתוך פריטים עדינים בחומרים קשיי ריתוך.
- ניתן לעבד בה חומרים קשיי עיבוד כמו מסגי ניקל, וולפרם, טנטלום, אלומינה וכו'.
- מאפשר להוציא מקדחים שבורים מתוך חורים.
- מאחר וקצב ההסרה נמוך, השימוש בתהליך מוגבל לעיבודים עדינים ומדויקים, עיבוד חומרים הרגשים להשפעות תרמיות.

יתרונות / חסרונות

- עיבוד קדחים וחריצים קטני ממדים בכל החומרים בטווח מידות 0.01 עד 0.2 מ"מ.
- עיבוד חורים צורתיים ע"י תזוזה מתאימה של העובד לעומת הקרן.
- יחס קוטר אורך 1 עד 200.
- סיבולת גבוהה עד 0.00125 מ"מ
- אין מגע בין הכלי והחומר המעובד.
- עלות גבוהה של הצידוד
- קצב הסרת חומר נמוך, כ-0.1 מ"מ בשנייה
- עיבוד חומרים עד עובי 6.3 מ"מ.
- יש לבודד את תא העבודה בגלל סכנת קרינה.
- יש צורך במפעיל מומחה

