

## דף נוסחאות - תהליכי ייצור

### חישוב עלויות ייצור

$$Q_n = A_n + B_n \cdot n$$

#### חישוב עלות ייצור של מס' חלקים

$Q_n$  הוצאה כוללת

$A_n$  הוצאה קבועה חד-פעמית

$B_n$  הוצאה פר חלק

$n$  כמות חלקים לייצור

### טיב שטח

#### גורמים המשפיעים על טיב שטח:

סוג החומר המעובד, קשיות החומר המעובד, תהליך העיבוד של חומר הגלם, דיוק המכונה, סוג כלי העיבוד, מהירויות, טמפ', היגש.

#### גורמים עיקריים המשפיעים על טיב פני שטח:

קידמה, רדיוס כלי החיתוך

$$R_t = \frac{1000f^2}{8r}$$

#### חישוב גובה חספוס – כתוצאה מעיבוד שבבי

נוסחא נכונה עבור  $f > 0.05 \left[ \frac{mm}{rev} \right]$

$R_t$  גובה החספוס (במיקרון-מטר) (כמה שיותר נמוך כך טיב השטח טוב יותר)

$f$  קידמה  $\left[ \frac{mm}{rev} \right]$

$r$  רדיוס כלי החיתוך  $[mm]$

$$R_t = 4R_a$$

#### חישוב גובה חספוס

(המרחק בין השקע העמוק ביותר לבליטה הגבוהה ביותר)

$R_t$  גובה חספוס  $[\mu m]$

$R_a$  גובה חספוס ממוצע (שולפים מטבלה)

$$f_{\max} = \sqrt{\frac{R_t \cdot 8r}{1000}}$$

#### חישוב קידמה מקסימלית על מנת להגיע לטיב שטח רצוי

$f_{\max}$  קידמה מקסימלית  $\left[ \frac{mm}{rev} \right]$

$R_t$  גובה חספוס  $[\mu m]$

$r$  רדיוס כלי החיתוך  $[mm]$

נוסחא נכונה עבור  $r < 1.6 \left[ \frac{mm}{mm} \right]$

עבור רדיוסים גדולים יותר מופיעים רעידות בחומר המעובד, יש גידול בכוחות שיבוב וטיב השטח המתקבל גרוע

## סבולת ואפיצות

• סבולת (Tolerance) – התחום שבו מותר לייצר את מידת החלק הנתונה. הסבולת נקבעת כהפרש בין המידה המקסימלית המותרת למידה המינימלית המותרת.

• סבולת לפי תקן ISO – טבלת סבולת IT

$$x_{\max} = a_{\max} - (b_{\min} + c_{\min})$$

$$x_{\min} = a_{\min} - (b_{\max} + c_{\max})$$

מינימום ארוך מקסימום מינימום קצר

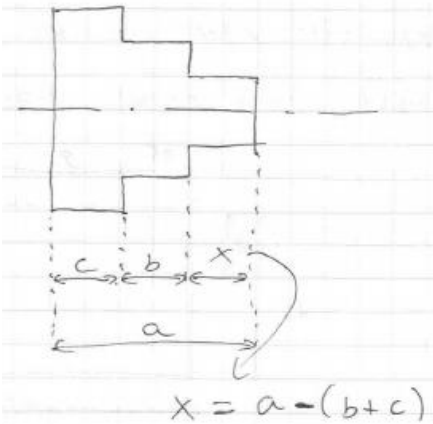
$$x_{\max} = \left( \begin{matrix} \text{מינימום} \\ \text{כוח} \\ \text{מקסימום} \end{matrix} \right) - \left( \begin{matrix} \text{מינימום} \\ \text{מינימום} \end{matrix} \right)$$

מידה סוגרת מקסימלית

מינימום ארוך מינימום מינימום קצר

$$x_{\min} = \left( \begin{matrix} \text{מינימום} \\ \text{כוח} \\ \text{מינימום} \end{matrix} \right) - \left( \begin{matrix} \text{מקסימום} \\ \text{מינימום} \end{matrix} \right)$$

מידה סוגרת מינימלית



• אפיצות – ההפרש בהרכבה בין מידות של 2 חלקים שמורכבים אחד בתוך השני. אפיצות חופש / אפיצות מרווח – כאשר יש רווח חיובי בין החלקים. אפיצות לחץ / אפיצות דחיקה – כאשר יש מרווח שלילי בין החלקים. אפיצות מעורבת / אפיצות ביניים / אפיצות מעבר – כאשר האפיצות מאפשרת קיום מרווח חיובי או מרווח שלילי בין החלקים.

שיטת קצר ארוך

קצר  $\phi 15 \ H7$   $\Rightarrow D_{\max} = 15 + (18 \cdot 10^{-3}) = 15.018$  [מ"מ]  
 $D_{\min} = 15 + 0 = 15.000$  [מ"מ]

ארוך  $\phi 15 \ g6$   $\Rightarrow d_{\max} = 15 - (6 \cdot 10^{-3}) = 14.994$   
 $d_{\min} = 15 - (17 \cdot 10^{-3}) = 14.983$

אפיצות מרווח =  $D_{\max} - d_{\min} = 15.018 - 14.983 = +0.035$  [מ"מ]  
 אפיצות מעבר =  $D_{\min} - d_{\max} = 15.000 - 14.994 = +0.006$  [מ"מ]

שיטת ארוך ארוך

קצר  $\phi 35 \ R7$   $\Rightarrow D_{\max} = 35 - (25 \cdot 10^{-3}) = 34.975$  [מ"מ]  
 $D_{\min} = 35 - (50 \cdot 10^{-3}) = 34.950$  [מ"מ]

ארוך  $\phi 35 \ h6$   $\Rightarrow d_{\max} = 35 + 0 = 35.000$  [מ"מ]  
 $d_{\min} = 35 - (16 \cdot 10^{-3}) = 34.984$  [מ"מ]

אפיצות לחץ =  $D_{\max} - d_{\min} = 34.975 - 34.984 = -0.009$  [מ"מ]  
 אפיצות מעבר =  $D_{\min} - d_{\max} = 34.950 - 35.000 = -0.050$  [מ"מ]

קידוח

$$n = \frac{1000v}{\pi D}$$

$$L = \Delta L_1 + l + \frac{1}{3}D + \Delta L_2$$

$$t = \frac{L}{n \cdot f}$$

**חישוב סל"ד המקדח**סל"ד המקדח  $n_{[RPM]}$ מהירות חיתוך מומלצת (שולפים מטבלה – בהתאם לסוג חומר העובד)  $v_{\left[\frac{m}{min}\right]}$ קוטר המקדח  $D_{[mm]}$ **מהלך המקדח עבור קדח עובר**מהלך המקדח  $L_{[mm]}$  $\Delta L_1$  מרווח בין המקדח לחומר, בתחילת הקידוח (בד"כ 1 מ"מ)אורך הקדח  $l_{[mm]}$ גובה קונוס/ראש המקדח (בקירוב)  $\frac{1}{3}D_{[mm]}$  $\Delta L_2$  מרווח בין המקדח לחומר, בסיום הקידוח (בד"כ 1 מ"מ)**חישוב זמן קידוח**זמן קידוח  $t_{[min]}$ מהלך המקדח  $L_{[mm]}$ סל"ד המקדח  $n_{[RPM]}$ קידמה צירית (שולפים מטבלה)  $f_{[mm]}$

הברזה

$$L = \Delta L_1 + l + x + \Delta L_2$$

$$L = \Delta L_1 + l + x$$

$$t = \frac{L}{n \cdot f}$$

$$f_{\left[ \begin{smallmatrix} mn \\ round \end{smallmatrix} \right]} = p$$

קידמה בהברזה שווה לפסיעת התבריג בכל סיבוב

**הברזה - מהלך עבור הברזה עוברת**

מהלך המברז  $L_{[mm]}$

$\Delta L_{1[mm]}$  מרווח בין המברז לחומר, בתחילת ההברזה (בד"כ 1 מ"מ)

אורך ההברזה  $l_{[mm]}$

גובה ראש המברז  $x_{[mm]} = 2p$

$\Delta L_{2[mm]}$  מרווח בין המקדח לחומר, בסיום הקידוח (בד"כ 1 מ"מ)

**הברזה - מהלך עבור הברזה לא עוברת**

מהלך המברז  $L_{[mm]}$

$\Delta L_{1[mm]}$  מרווח בין המברז לחומר, בתחילת ההברזה (בד"כ 1 מ"מ)

אורך ההברזה  $l_{[mm]}$

גובה ראש המברז  $x_{[mm]} = 2p$

$\Delta L_{2[mm]}$  מרווח בין המקדח לחומר, בסיום הקידוח (בד"כ 1 מ"מ)

**הברזה - חישוב זמן ההברזה**

זמן ההברזה  $t_{[min]}$

מהלך המברז  $L_{[mm]}$

סל"ד המברז  $n_{[RPM]}$

קידמה צרית  $f_{[mm]}$

כרסום

$$n = \frac{1000v}{\pi D}$$

$$f = f_z \cdot z \cdot n$$

$$a = 0.5D$$

$$a = 1.5D$$

$$0.5 \leq a \leq 0.2$$

$$L = \Delta L_1 + l + \Delta L_2 + \frac{D}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{D^2 - B^2}$$

מומלץ שקוטר הכרסום יהיה גדול מרוחב המשטח

$$L = \Delta L_1 + l + \Delta L_2 + D$$

$$t = \frac{L}{n \cdot f}$$

$$T_{total} = t_{corse} + t_{fine}$$

**חישוב סל"ד כרסום**

סל"ד הכרסום  $n_{[RPM]}$

מהירות חיתוך מומלצת (שולפים מטבלה – בהתאם לסוג חומר העובד)  $v_{\left[\frac{mm}{min}\right]}$

קוטר הכרסום  $D_{[mm]}$

**חישוב קידמה בכרסום**

קידמה בכרסום  $f_{\left[\frac{mm}{min}\right]}$

$f_z$  קידמה מותרת לשן (ע"פ המלצת יצרן)

$z$  מספר שיניים בכרסום

סל"ד הכרסום  $n_{[RPM]}$

מס' שיניים עבור אלומיניום – 3  
מס' שיניים עבור פלדות – 4 או 6

היגש מקסימלי – כרסום חודר מרכז – כאשר נדרשים להוריד הרבה חומר

היגש מקסימלי עבור כרסום צד - כאשר נדרשים לבצע מדרגה

היגש עדין – לקבלת טיב פני שטח מעולה

כרסום שטח**מהלך כרסום שטח ראשוני (הכרסום לא עובר עד הסוף)**

מהלך כרסום שטח ראשוני  $L_{[mm]}$

$\Delta L_{1[mm]}$  מרווח בין הכרסום לחומר, בתחילת הכרסום (בד"כ 1 מ"מ)

$l_{[mm]}$  אורך המשטח שיש לכרסם

$\Delta L_{1[mm]}$  מרווח בין הכרסום לחומר, בסוף הכרסום (בד"כ 1 מ"מ)

קוטר הכרסום  $D_{[mm]}$

רוחב המשטח שיש לכרסם  $B_{[mm]}$

**מהלך כרסום שטח סופי (היגש 1 מ"מ)**

מהלך כרסום שטח ראשוני  $L_{[mm]}$

$\Delta L_{1[mm]}$  מרווח בין הכרסום לחומר, בתחילת הכרסום (בד"כ 1 מ"מ)

$l_{[mm]}$  אורך המשטח שיש לכרסם

$\Delta L_{1[mm]}$  מרווח בין הכרסום לחומר, בסוף הכרסום (בד"כ 1 מ"מ)

קוטר הכרסום  $D_{[mm]}$

**חישוב זמן כרסום**

זמן כרסום  $t_{[min]}$

מהלך הכרסום  $L_{[mm]}$

סל"ד הכרסום  $n_{[RPM]}$

קידמה  $f_{[mm]}$

חריטה**היגש בחריטה**

$a_{[mm]}$  היגש – עומק שבב

$D_{[mm]}$  קוטר חיצוני של החלק המעובד

$d_{[mm]}$  קוטר פנימי של החלק המעובד שאליו מעוניינים להגיע

$$a = \frac{D - d}{2}$$

$$n = \frac{1000v}{\pi D}$$

**סל"ד המחרטה (מהירות סיבוב החלק המעובד)**

$n_{[RPM]}$  סל"ד המחרטה

$v_{\left[\frac{m}{min}\right]}$  מהירות חיתוך מומלצת (שולפים מטבלה – בהתאם לסוג חומר העובד)

$D_{[mm]}$  קוטר חיצוני של החלק המעובד

$$L = \Delta L_1 + l + \Delta L_2$$

**מהלך חריטת אורך**

$L_{[mm]}$  מהלך חריטת אורך

$\Delta L_1_{[mm]}$  מרווח כניסה (בד"כ 1 מ"מ)

$l_{[mm]}$  אורך שיש לחרוט

$\Delta L_2_{[mm]}$  מרווח יציאה (בד"כ 1 מ"מ)

$$t = \frac{L}{n \cdot f}$$

**חישוב זמן חריטה**

$t_{[min]}$  זמן חריטה

$L_{[mm]}$  מהלך חריטת אורך

$n_{[RPM]}$  סל"ד מחרטה

$f_{[mm]}$  קידמה

## תהליך עיבוד טכנולוגי

פעולה – עיבוד שנעשה במכונה אחת, כולל הזזת העובד והפיכתו.

מעבר – שלב בתוך הפעולה, שבו מחליפים כלי במכונה, או שמחליפים צורת עיבוד במכונה.

### שלבים אפשריים בתהליך עיבוד טכנולוגי (בנק תהליכים)

- בחירת חומר הגלם – (מוט עגול, יציקת פלדה/ לוח פלדה) , בוחרים מידות כלליות שיאפשרו מרווח עבודה על החלק.
- ניסור חומר הגלם למידות
- ריתום החלק בפוטר
- ריתום החלק בתפסנית
- חריטת מצח גסה
- חריטת מצח רגילה
- חריטת מצח עדינה
- חריטת אורך
- חריטת פאזה
- גידוע
- חריטה פנימית גסה
- חריטה פנימית עדינה
- קידוח קדח מרכז
- קידוח קדח קטן
- הגדל קדח
- קידוח קדח עובר
- קידוח קדח עיוור
- קידוד קדח
- הברגה עם מברז
- הברגה עם מחרוקת
- כרסום גס
- כרסום עדין
- כרסום חריץ
- כרסום מדרגה
- השחזה
- השחזה גסה
- השחזה בינונית
- השחזה עדינה
- מירוק פנימי
- ליטוש חיצוני
- עיבוד EDM – חיתוך חוט
- עיבוד EDM – שיקוע (אלקטרו-ארוזיה)
- עיבוד ECM (אלקטרוכימי)
- חיתוך לייזר
- שבירת פינות חדות
- ביקורת