מהג"פ
מתקן הלחמה לגבישים פייזואלקטריים

פרויקט תכן מוצר חדש – 034353/4

עמרי ינאי, דביר קרייזמן, עודד מרדכי.

המנחה
ד"ר ארנון גילן

הלקוח
אלי לוין
רפא"ל

תקציר

- מטרת הפרויקט: לתכן ולייצר מתקן להלחמת מגעים חשמליים על שני משטחים נגדיים של גביש פייזו-אלקטרי, בעל שלוש צורות שונות: דיסקה שטוחה, גליל חלול וחצי-כדור חלול.
- תמצית הדרישות: – בחירת מקום נקודת ההלחמה הרצויה בדיוק של ±2 mm ובצורה הדירה;
  – חימום מוקדם של הגביש ל-70°C±1°C ושמירת הטמפרטורה שלו בזמן ההלחמה;
  – שליטה על הפרמטרים של ההלחמה ושמירה על הדירותם:
  ✓ הכוח המופעל על המלחם יהיה בתחום [N]3-0.5 ובדיוק של ±0.03 N.
  ✓ משך ההלחמה:[sec] ±0.03 4-0.
  – נוחיות ובטיחות בעבודה, התאמה לתנאי המעבדה.
- מהג"פ – מתקן הלחמה לגבישים פייזואלקטריים – מורכב מתבנית חימום, הנושאת עליה תפסניות לסוגי הגבישים השונים. התבנית ניתנת להזזה מדויקת בשני צירים X ו-Y ולסיבוב מדויק סביב ציר אנכי. מול התבנית מורכב מלחם הניתן להזזה אנכית ולסיבוב בשני צירים. כוח ההלחמה ומשך ההלחמה נשלטים על-ידי מחשב, על-פי קריאה חשמלית של מד-כוח.

רקע תיאורטי

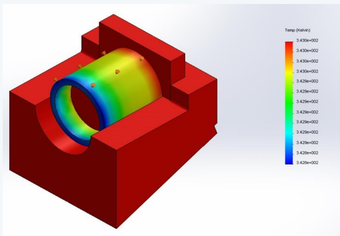
- ברפאל מוקמת יכולת תכן וייצור של רכיבי קצה למערכות אקוסטיות תת-ימיות – הידרופונים.
- הידרופון הינו מתמר, אשר מתרגם את הלחץ האקוסטי לאות חשמלי.
- רכיב החישה של ההידרופון עשוי מקרמיקה פייזואלקטרית (PZT) מצופה במתכת. הציפוי משמש כאלקטרודה.
- מבחינה חשמלית ה- PZT משמש מקור מתח ומתנהג כקבל.
- אחת הבעיות שמתמודדים איתה כיום היא הלחמת מגעי החשמל על הגביש הפייזואלקטרי, בשל רגישותו הרבה לחום ולמאמץ מכני.
- בעיה נוספת היא מציאת נקודות הלחמה אידיאליות מבחינת תגובת הגביש ללחצים אקוסטיים, כי ההגבישים באים בגדלים ובגיאומטריות שונות.

V&V-Validation and Verification

אנליזות חום

על מנת לוודא כי ההלחמה תתבצע בתנאי טמפרטורה אידיאלים על פי בקשת הלקוח תוך זמן קצר התבצעו אנליזות חום ממוחשבות בתוכנת אלמנטים סופיים (FEM) לצד חישובים אנליטיים תיאורטיים:

אנליזת FEM של תפסנית עם גביש בצורת גליל חלול

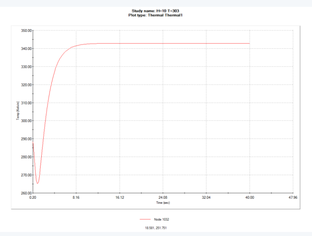


חישוב אנליטי של טרנזיאנט הטמפרטורה עד למצב מתמיד

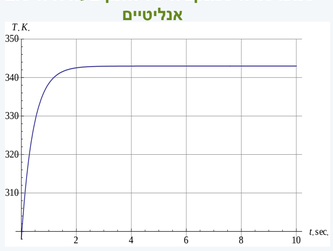
$$\frac{\frac{T_s-T}{\frac{L_c}{kA_{s,h}}}-\frac{T-T_\infty}{\frac{1}{hA_{s,c}}}=\rho Vc_p\dot{T}}{\Rightarrow \dot{T}+\left[\underbrace{\frac{kA_{s,h}}{L_c\rho Vc_p}}_{a}+\underbrace{\frac{hA_{s,c}}{\rho Vc_p}}_{b}\right]T=\left[\underbrace{\frac{kA_{s,h}}{L_c\rho Vc_p}}_{a}T_s+\underbrace{\frac{hA_{s,c}}{\rho Vc_p}}_{b}T_\infty\right]}$$

$$\Rightarrow T(t)=\underbrace{\frac{aT_s+bT_\infty}{a+b}}_{T_{ss}}+\left(T_i-\underbrace{\frac{aT_s+bT_\infty}{a+b}}_{T_{ss}}\right)e^{\overbrace{-(a+b)t}^{\frac{1}{\tau}}}$$

טמפרטורה כפונקציה של הזמן בעזרת FEM

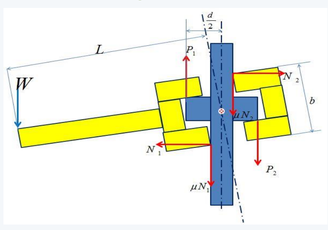


טמפרטורה כפונקציה של הזמן בעזרת חישובים אנליטיים



חישוב המומנט הנדרש מהמנוע

דיאגרמת גוף חופשי



המומנט הנדרש מהמנוע ללא התחשבות בחיכוך (מחישובי אנרגיה):

$$mg\cdot P=M\cdot 2\pi\Rightarrow M=\frac{mgP}{2\pi}=0.655\left[Nmm\right]=6.683\cdot 10^{-3}[kg\cdot cm]$$

המומנט הנדרש מהמנוע לאחר התחשבות בחיכוך (נצילות בורג ההנעה):

$$M_\eta=\frac{M}{\eta}=2.343\left[Nmm\right]=23.915\cdot 10^{-3}[kg\cdot cm]$$

המומנט הנדרש מהמנוע לאחר התחשבות באקסצנטריות העומס:

$$M_{final}=M_\eta\cdot 2.08=4.873\left[Nmm\right]=49.7432\cdot 10^{-3}[kg\cdot cm]=49.7432[gr\cdot cm]$$

דרישות הלקוח / הפונקציות

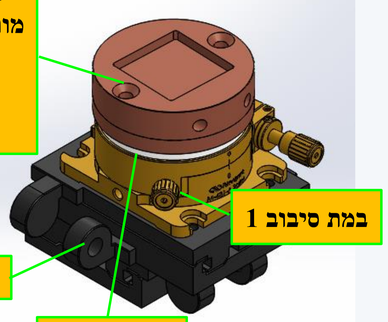
- אפשרות לראות את נקודת ההלחמה.
- יכולת עבודה עם שלוש צורות של גבישים.
- שליטה ב-3 המימדים על מיקום נקודת ההלחמה.
- יכולת הלחמה על שני צידי הגביש.
- שליטה על כוח ההלחמה.
- שליטה על משך ההלחמה.
- שמירה על טמפרטורת הגביש בזמן ההלחמה.
- הדירות של כל הפרמטרים.

פונקציה	דרישה	פתרון
2 דרגות חופש זוויתיות למלחם: זוית הגעה וזוית נגיעה.	טווח הזויות: 0^o-90^o רזולוציה: 2^o טולרנס: ±0.5	שימוש ב-2 במות סיבוב בעלות דיוק גבוה במנגנון הנעת המלחם.
משך ההלחמה	טווח: [sec] 4 – 0 רזולוציה: [sec] 0.1 טולרנס: ±0.03[sec]	שליטה מבוקרת מחשב.
כח המגע בין המלחם לגביש	טווח: [N] 3 – 0.5 רזולוציה: [N] 0.1 טולרנס: ±0.03[N]	שימוש בחיישן כח המחובר לבקרה ממוחשבת השולטת על תנועת מסילה ממנועת.
שמירת הגביש ב 70^oC	רזולוציה: 1^o [C] טולרנס: ±1^o[C]	שימוש בתושבת חימום מבוקרת.

תיאור המערכת

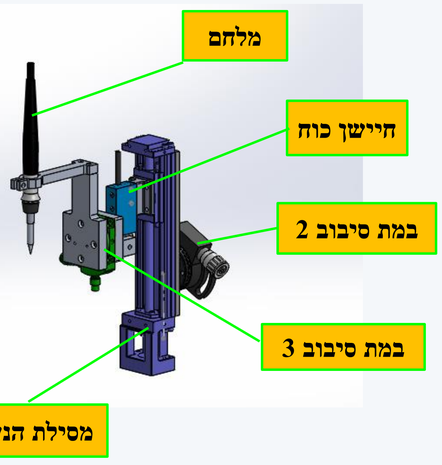
במות המיקום, הסיבוב ומנגנון החימום

תבנית חימום בתוכה מותקן תרמוקפל, נשלטת ע"י מערכת בקרה. תוצרת חברת "יצחק דרעי"

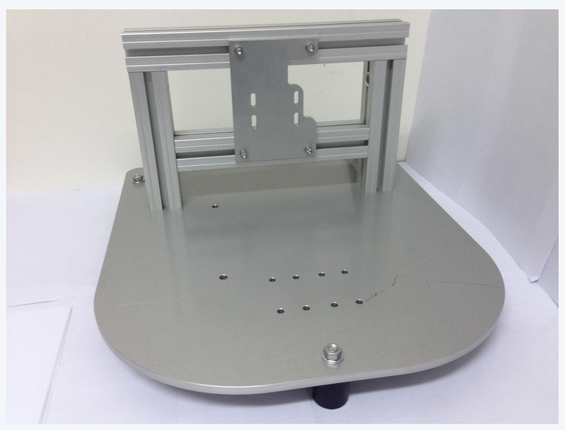


מנגנון הנעת המלחם

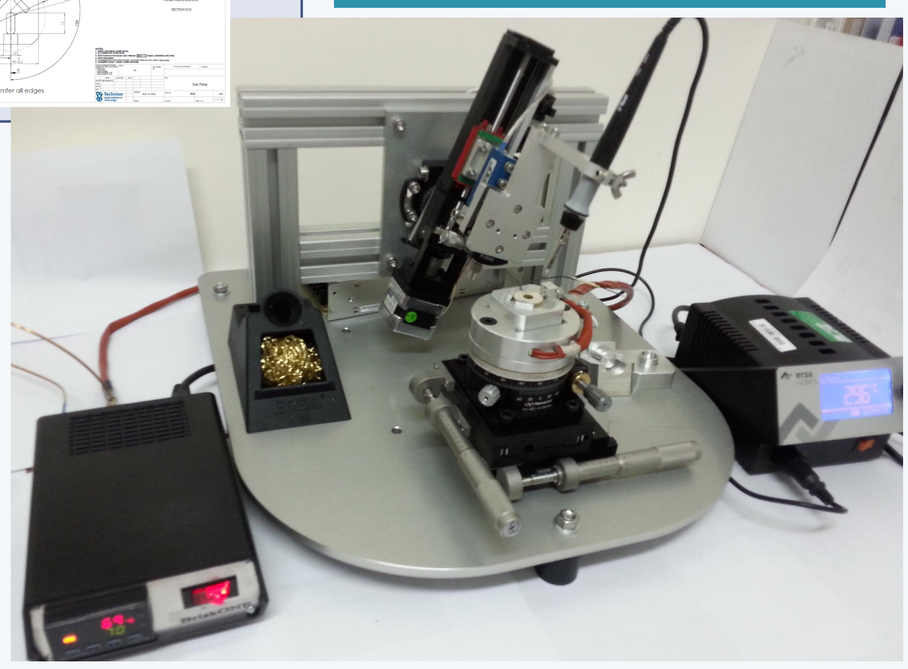
מערכת המורכבת מ-2 במות סיבוב,אחת מאפשרת הגעה לגביש בזוויות שונות ואילו השניה קובעת את הזווית בין המלחם לגביש בעת ההלחמה. אחת מהחוליות המקשרות הוא חיישן כוח רגיש מאד המבוסס על עיקרון של קורה בכפיפה.



העריסה

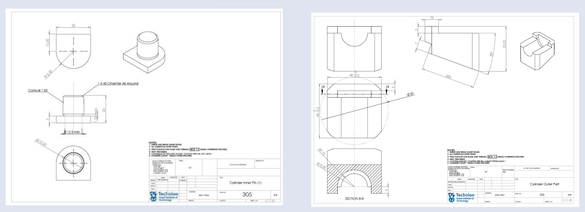


המוצר המוגמר

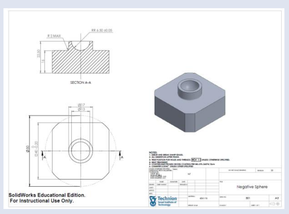


תפסניות הגבישים בתכנון

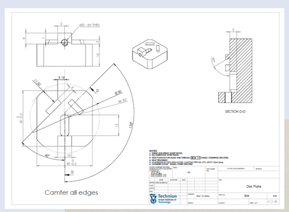
תפסנית הגליל



תפסנית הספירה



תפסנית הדסקה



תפסניות הגבישים במציאות

האתגרים

אתגר/קושי	פתרון
ריבוי דרגות חופש בתנועת המלחם ובמיקום הגביש	שליטה על כל דרגת חופש בנפרד ע"י רכיבי הנעה.
דרישה מחמירה להדירות	דרישת טולרנסים מדויקים על רכיבים מיוצרים. שימוש ברכיבים קנויים מדויקים השולטים על דרגות החופש השונות.
שליטה על כוח וזמן ההלחמה	שימוש בחיישן כוח, מנגנון הנעה חשמלי ומערכת בקרה ממוחשבת.
בקרה ממוחשבת על תנועת המלחם	התייעצות עם גורמים מנוסים בפקולטה.

תודות

אנו רוצים להודות לאנשים שבלעדיהם הפרויקט לא היה קם ויוצא אל הפועל.

לד"ר ארנון גילן, שעבר וחזר ועבר על כל דבר קטן שעשינו בדיוק וקפדנות, שלימד אותנו סטנדרטים של עבודה רצינית מהם.

לד"ר חגי במברגר על ההרצאות והתובנות.

לחברת "יצחק דרעי מוצרי חשמל וחימום בע"מ על הייעוץ והתמיכה בפרויקט.

לכפיר כהן על העצות המרובות במהלך ההוצאה של הפרויקט מהמחשב לייצור.

לפרופ' ראובן כץ על העצות המועילות והעזרה בכל צרה.

ולאלי לוין, שהיה לא רק הלקוח, אלא גם פותר הבעיות.