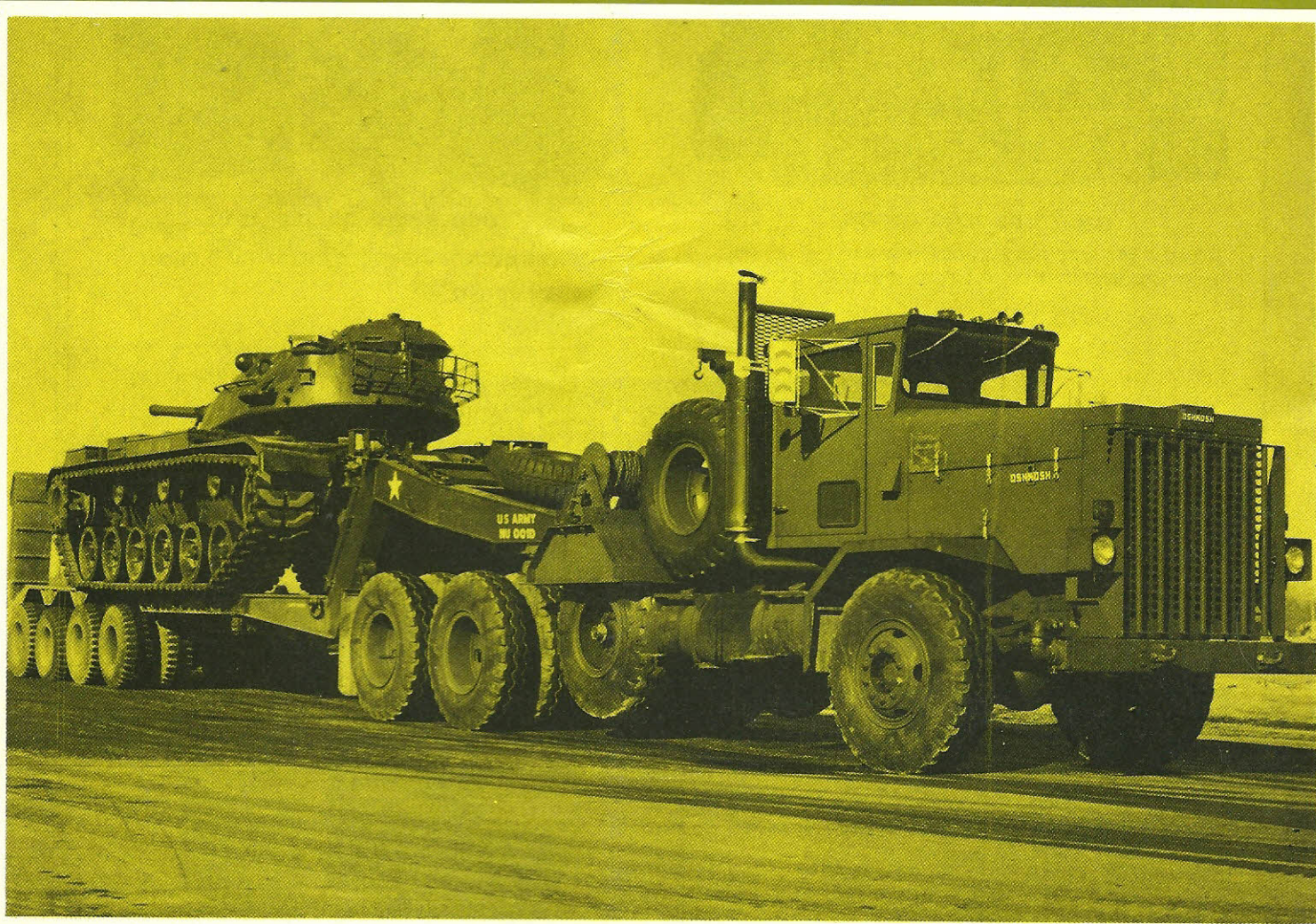
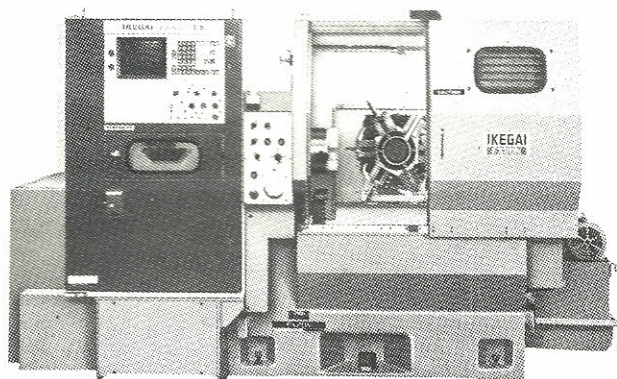
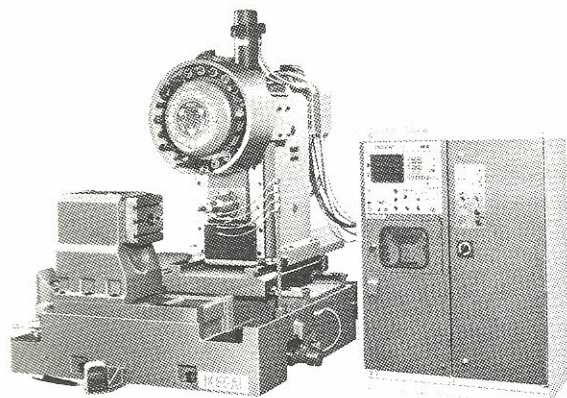




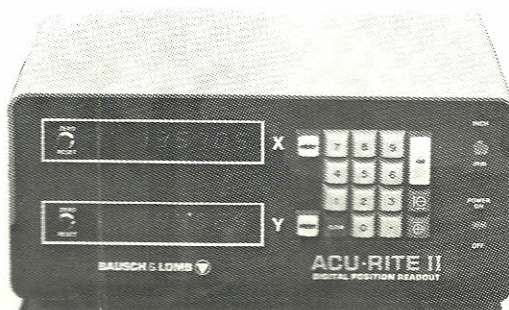
נציגים מסחריים - יבוא ושווק של מכונות וציוד לעבוד שבבי



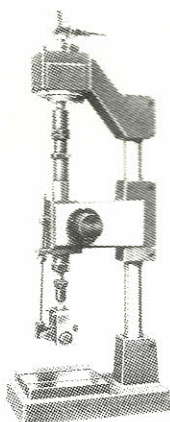
מחרטה בעלת פקוד C.N.C



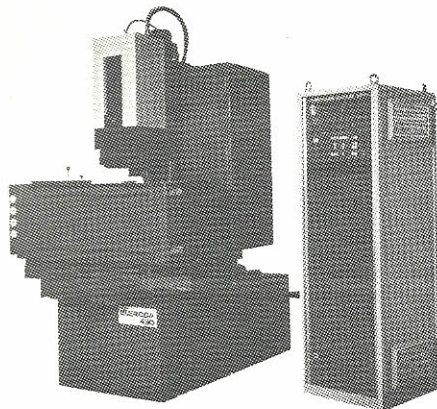
מרכז עבוד עם מחליף כלים
 בעל פקוד C.N.C



מכשיר לקריאה ספרתית מיועד
 להרכבה על כל מכונות הכלים



מכבש סימון
 בהטבעה וסמור



מכונות אלקטרו-ארוזיה רגילות
 ומכונות חוט בעלות פקוד C.N.C



חוברת מס' 79 • תמוז, תשמ"א • יולי 1981

בתוכן:

- 2 תא"ל חיים דומי ז"ל — דברים לזכרו
4 גוררי טנקים במערב
מאת רון אגרון
סקירה על הדרישות מראש גורר ועל עבר והווה של
גוררי טנקים בארצות המערב.
10 גלאים אופטיים
מאת יהונתן נמיר
תפקידו של הגלאי האופטי הוא לגלות קרינת-אור
הפוגעת בו ולתרגם זאת לפולס חשמלי. על הסוגים
השונים של הגלאים האופטיים ותכונותיהם — במאמר.
14 ראשי-נפץ לטילים
מאת אלי גילת
כיצד פועלים ראשי-הנפץ לסוגיהם — ראשי-הדף (וב-
כללם פיצצות דלק-אוויר), ראשי ריסוק וראשי-נפץ
צורתיים — על כך במאמר.
22 תהליך ההשחזה האלקטרוכימית
מאת ד"ר מנחם גבע
סקירה מפורטת על תהליך ההשחזה האלקטרוכימית,
שהוא אחד מתהליכי העיבוד החדשים שפותחו
בתקופה האחרונה במגמה לאפשר עיבוד יעיל של
נתכים בעלי תכונות חזק מעולות.
30 אטמים
פרק שני בסדרת מאמרים על אטמים, והפעם — על
אטמים דינמיים

העורך: רס"ר נסים נפתלי עיצוב השער: אפי

תמונת השער: גוררי-הטנקים M911 "אושקוש" —
מהחדישים שבגוררי-הטנקים במערב. ראה כתבה בעמ' 4.

מערכות בית ההוצאה של צבא ההגנה לישראל

עורך ראשי: אל"מ יעקב זיסקינד.
"מערכות" עורך — סא"ל יוסי פורת.
"קשר ואלקטרוניקה" ק' עריכה — מלכה שניר

מען המערכת: ד"צ 02128, צה"ל + מדור המנויים: הקריה, רח' דוד אלעזר 29, טלפון: 212516, 216437 + הודפס
באמצעות: משרד הבטחון — ההוצאה לאור + ביצוע: "ידע-סלע", רח' הנגב 8, טל. 331061 + מודעות: "כותרת",
רח' אלכסנדר ינאי 13 ת"א, טל. 449112. + המערכת אינה אחראית לתוכן המודעות.

תא"ל

חיים דומי ז"ל - המפקד והאדם



לפני כ-4 חודשים, ב־כ' אדרב' תשמ"א הובא למנוחת עולמים, בטקס צבאי, תא"ל חיים דומי ז"ל, שהיה קצין החימוש הראשי בשנת 1966—1973.

חיים דומי ז"ל, יליד הארץ (1928), בוגר ביה"ס הריאלי בחיפה, התנדב לפלמ"ח ובמלחמת העצמאות שירת בתפקידי פיקוד בחטיבת "יפתח". השתתף בפשיטה העמוקה לסאסא, בקרבות הגליל ובכיבוש לוד. נסע במבצע "יואב", בפריצת הדרך לנגב. השתחרר מצה"ל (1950) כדי ללמוד הנדסת מכונות בטכניון ולאחר שסיים את הלימודים חזר לשירות בחיל-החימוש. נשלח על-ידי צה"ל ללימודים בארה"ב, ובספטמבר 1966 מונה לקצין החימוש הראשי. בתפקיד זה כיהן שבע שנים, עד ספטמבר 1973.

שבע השנים שבהם עמד תת-אלוף חיים דומי בראש חיל-החימוש היו שנות התעצמות לחיל. תרומתו הבולטת ביותר היתה באירגון החיל ובהנחת התשתית למבנהו המודרני הניד שהוכיח את יעילותו הרבה במלחמת יום הכיפורים.

עם סיום תפקידו השתחרר מצה"ל ומונה לתפקיד בכיר בהנהלת בתי-הדיקוק בחיפה. זמן קצר לאחר מכן חלה במחלה קשה. לאחר שעבר טיפול ממושך יזמו חבריו בצה"ל את החזרתו לשירות. לאחר שכינה כסגן המדען הראשי מונה לעוזר ראש אג"א לפרויקטים מיוחדים. הפרויקט האחרון שעסק בו היה שיקום נזרע במצוקה על-ידי העסקתו בהנצלת ציוד צבאי. בעיצומה של העבודה כרע, נפל.

מן הזכרונות שמעלים ידידיו של תא"ל חיים דומי ז"ל, בין אם אלה חבריו מנוער ובין אם פיקודיו ועמיתיו מתקופת השירות הצבאי, עולות תכונות אופי שבזמננו מרבים לדבר על היעדרן — צניעות-הליכות, יושר אישי ודאגת אמת לפרט מזה, וגישה יסודית לכל נושא שטיפל בו — מזה.

כבר בימים הראשונים להיכנסו לתפקידו כקצין החימוש הראשי זימן אליו חיים דומי את קצין הסער של החיל וחקר אותו "חקירה יסודית", כמנהגו. המטיר עליו שאלות, על מספר האלמנות בחיל, מצבן הכלכלי, הטיפול בלדיהן, מצב פצועי החיל, מי מבקרים, מתי וכמה. כן הורה לו להטרידו בכל ענין, גדול וקטן, המחייב את התערבותו בטיפול במשפחות אנשי הקבע. הדאגה לאדם היתה חלק מעצמו, והטיפול בענייני הצבא לא דחק את הדאגה הזו לקרן-זוית.

גישתו לפיקודו היתה חברית, נעימה, שלא על דרך הפקודה. היתה לו סמכות של מפקד, אך הוא נהג לשתף את כולם בתהליך קבלת ההחלטות, האזין לכל אחד ורשם הערות. צורת העבודה הזו נטעה במשתתפי הדיון ביטחון עצמי ותרמה לאוירה הרמונית.

דוגמה אופיינית לשיטת העבודה הזו היתה התכוננותו לאחד הדיינים עם האלוף ישראל טל. הוא בחר בקצין מטה בעל מזג חם לשחק את התפקיד של טליק כמפקד גייסות השיריון והוא עצמו העלה את טיעוניו כקחש"ר. לאחר מכן החליף תפקידים עם הקצין. משני העימותים הללו רשם לעצמו הערות, ובסופו של דבר, נזכר אותו קצין-מטה, "הוא ניצח בדיון מבחינתו".

דומי זכור לפקודיו כמפקד המעדיף שלא לסכם את הדיון במקום, אלא בוחר לשקול שוב את דבריו המשתתפים ולהעריך את המצב מחדש. למי שלא הכירו, יכול היה להיראות אז כמי שמתקשה להחליט. אלה שעבדו עמו ידעו, כי זהו סימן ההיכר ליסודיות שלו. "ההחלטות שלו", אומר אחד מפקודיו, "נשארו שרירות לאורך זמן ומעט שינויים חלו בהן. זה איפיין אותו כמפקד, כמנהל מערכת".

"כמו אח גדול, בשנה שנתיים"

"אני מכיר את חיים כ־30 שנה", מספר אחד מידידיו הקרובים ופקודו במשך שנים. "היכרתי אותו מאז למד בטכניון. מצאתי בו ידיד לכל אורך הדרך. הוא היה עבורי כמו אח גדול, בשנה שנתיים".

אופיינית לו היתה התכונה לשמור לעצמו את בעיותיו האישיות ולא לחלקן אף עם ידידיו הקרובים ביותר. "לאחר שנתגלתה מחלתו, ביליתי ימים ולילות ליד מיטתו, וברגעים שהיה יכול לדבר היה אומר: אבי, לך הכיתה. יהיה בסדר אתי, אל תדאגו. כשחזר מריפוי בחו"ל לא פנה לידידים בבקשת עזרה. היוזמה להחזירו לשירות היתה של עמוס חורב. לא היינו צריכים לדבר הרבה כדי לשכנע את ראש אכ"א דאז לגייסו שוב לצה"ל. לאחר מכן, כשנותר לבדו בבית, המשכתי לבקרו בקביעות. אף פעם לא התלונן, למרות שהיה ברור שהוא זקוק לעזרה. אני חושב שלחיים לא היה אפילו שונא אחד. אם כעס, ידע לעשות זאת בחיך ובצורה דיפלומטית, ואנשים לא נפגעו ממנו".

צניעות-הליכות ויושר אישי

אנשים שיש להם פתרונות לכל דבר מבלי שאלה יהיו מעוגנים בלימוד יסודי.
"בהיותי ראש אג"א, זכורים לי ויכוחים מרים עם חיים, שפיקד אז על החיל. הוא נלחם על דעתו ונתן גיבוי מלא לפקודיו. היו בינינו גם חילוקי-דיעות על בסיס מקצועי, אך אלה לא פגעו בידירות האמת שלנו."

•

אחרון הפרויקטים שבו עסק תא"ל חיים דומי ז"ל, במלוא המרץ, ההתמדה וההתלהבות שבה איפיינו אותו, היה הפרויקט התעשייתי לנוער במצוקה. הוא ראה בפרויקט הזה את משימת חייו וכרכו למד את הנושא ביסודיות. בדברי ההספד שנשא על קברו, אמר ראש אג"א, האלוף יוחנן גור, כי "מתוך ידיעת החשיבות שייחסת לפרויקט, אני מבטיח לך שנעשה כל מאמץ כדי לממשו."
את ההספד שנשא עמוס חורב על קברו של חיים דומי ז"ל סיים במלים האלה: "חיימקה איננו, הלך מאיתנו והשאיר אותנו דלים יותר ועצובים, כי הרי במיטב שנותיו היה ועודו חולם ומקווה, רצה לעשות עוד ועוד ולא ניתן. תחסר לנו חיימקה."

חיים דומי נתן אמן בבני-אדם, זו היתה אחת מתכונותיו הבולטות. חבריו מספרים כי לא פעם היה בהלם כאשר נודע לו כי פשוט שיקרו לו. היה לו קשה להאמין שיש הנוקטים בדרך הזו. במקרים כאלה הוא היה מנתק את קשריו עם אותו אדם, וגם זאת, בשקט וללא מריבות. מעולם לא נתפנה לרכושנות. הממון לא נחשב בעיניו. על אורח-חייו הצנוע יכולים להעיד גם חבריו מתקופת הלימודים בארה"ב. הוא שנא את הבזבז ומכאן המאמצים הרבים שהקדיש לנושא אחזקת הציוד ולהחדרת תודעת האחזקה המונעת. הוא הבין שכאן טמון חיסכון עצום. מסכם את דמותו של תא"ל חיים דומי ז"ל, חברו מנוער ומפקדו במשך שנים, האלוף (מיל') עמוס חורב, נשיא הטכניון.

"חיים דומי ז"ל היה אדם שקול מאוד, בעל דיעה צבאית מגובשת, שלא פעם נקט בצעדים בלתי-פופולריים שהאמין בהם. היתה לו מחשבה עצמאית והוא דרש זאת גם מפקודיו. היתה בו תכונה חשובה מאוד — הוא היה מסוגל ללמוד וללמוד ולהתמיד בכך זמן רב."

"חיים היה מפקד שקט, הוא לא היה שחצן ולא ניצל את סמכויותיו כמפקד לפעולות של ראוות ופירסום ורחק מהם. לא היו לו שונאים, גם לא בקרב אלה שחלקו עליו בעניינים מקצועיים. הוא היה חבר לענין בכל עת, ותמיד היה מוכן להילחם למען חבריו. היה לו סולם ערכים משלו, שכלל צניעות, אמת, דביקות במטרה ויושר אינטלקטואלי. למרות שלא היה "חיה חברתית", היה בו הכישרון להקשיב בסבלנות אין קץ לכל אחד שדיבר לענין. לכל נושא התכונן ביסודיות רבה. לא היה יכול לשאת

בתמונה — תא"ל חיים דומי (ראשון מימין) צופה יחד עם קצינים בכירים בחיל במופע לרגל יום חיל-החימוש תשמ"א. כחודש לאחר מכן, נפטר.





גורר-טנקים במערב

מאת רון אגרון

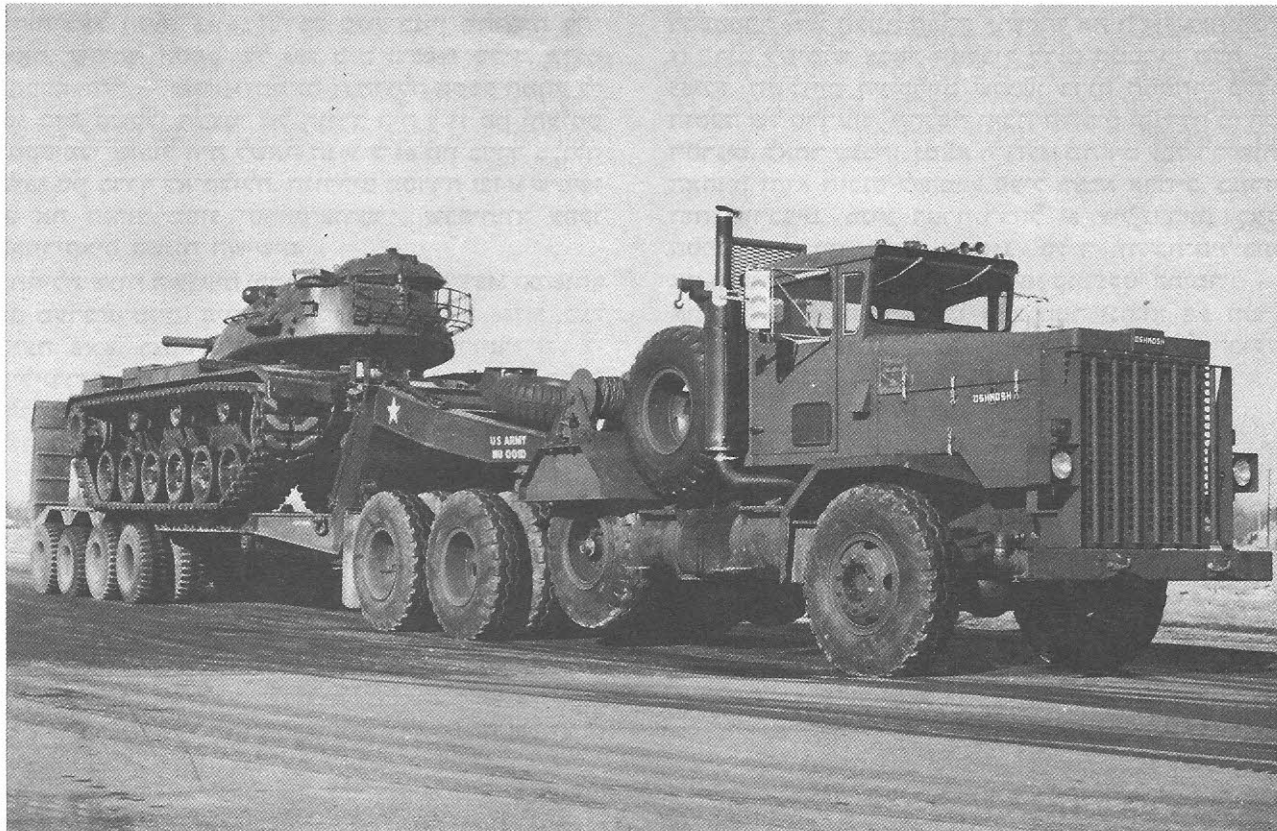
הצורך בניוד מהיר של טנקים התעורר במהלך מלחמת-העולם השנייה, שבה נדרשו הצבאות הלוחמים להעביר כוחות-שיריון גדולים מצידה האחד של אירופה לצידה השני, בזמן קצר יחסית ובלא שתיפגע כשירות הרק"מ במהלך ההעברה. מאז, לא חל במערב שינוי עקרוני בשיטות הובלת הטנקים. גם כיום בולטות שתי שיטות: האחת — הובלה על גבי קרונות-רכבת, והשנייה — הובלה על-ידי גוררי טנקים. בשתי השיטות הללו מנוצלים היטב תשתית הכבישים המצוינת ורשת מסילות-הברזל המסועפת הקיימים ביבשת אירופה. מן הראוי לציין כאן, כי בידי המעצמות הגדולות — ארה"ב וברית המועצות — יש גם אמצעים להובלה ימית ואוירית של טנקים.

יתר חלקי מערכת ההנעה — המצמד, תיבת-ההילוכים, גלי-ההינע, הדיפרנציאל האחורי והקדמי — חייבים להיות מסוגלים להעביר מומנטים גבוהים. במקום המצמד המכני מקובל כיום להרכיב ממיר-מומנט, המקטין את הצורך במיומנות גבוהה בנהיגה ומאפשר לשמור על היכולת להעביר מומנטים גבוהים בפרקי-זמן קצרים.

תיבת-ההילוכים חייבת להיות בעלת תחום-עבודה רחב מחד גיסא, ובעלת חפיפה גדולה בין הילוך להילוך — מאידך. תחום-העבודה הרחב צריך להתבטא ביכולת הראש-הגורר לנוע הן במהירויות נמוכות, תוך כדי העברת מומנט גבוה לסרנים, והן במהירויות גבוהות בדרך סלולה. הדרישה לחפיפה בין הילוך להילוך נפתרת על ידי התקנת תיבת-הילוכים אוטומטית.

מבחינת מספר הסרנים בראשי-גוררים, נפוץ כיום השימוש במספר סרנים רב, בדרך כלל 4–3 סרנים. הסיבה לכך נעוצה בהגבלות העומס של הסרנים, המעוגנות בחוקי התעבורה. החיסרון בשימוש במספר סרנים רב מתבטא בעיקר בתנועה בסיבובים ובדרכים לא-סלולות. בהקשר לכך נציין, כי משנת 1976 משתמש הצבא האמריקאי בראש גורר 6x6 המצויד בסרן-עזר. סרן זה, המופעל על ידי פיקוד פנימי, מוכנס לפעולה בעת נסיעה בכבישים, כדי להפחית את העומס מעל שאר הסרנים. בדרכים לא-סלולות מורם סרן-העזר כדי להגדיל את כושר העבירות של הרכב.

תמונה 1



שיטת "הניוד העצמי" של טנקים — דהיינו תנועה על גבי הזחלים עד לשדה-הקרב — פסולה מעיקרה מבחינה צבאית: קיים חשש סביר לפגיעה בכשירותו של הרכ"מ, שיידרש לנוע קילומטרים רבים עד לקו הקדמי של החזית; זמן יקר יבוזבז בשל כך, ומערכת הכבישים עלולה להיחרס ולהיחסם.

מדינות מערב-אירופה מנצלות את מערכת הכבישים המפותחת שלהן, ולפיכך ניתן למצוא בהן קשת רחבה של גוררי-טנקים חדישים. בברית-המועצות, לעומת זאת, מועדף השימוש ברכבת כאמצעי-הובלה, בגלל המרחקים הגדולים בין החזיתות. יתרונה הבולט של שיטת ההובלה ברכבת היא עלותה הנמוכה, ללא כל השוואה לשיטת ההובלה על-ידי גוררי-טנקים, אך לעומת זאת יש לרכבת חיסרון גדול, בהיותה מטרה נוחה להפצצות מן האוויר. יתרונו של גוררי-הטנקים הוא ביכולתו להביא את הטנק קרוב מאוד לשדה-הקרב, או להוציאו משם, וכן ביכולתו להעמיס בעצמו טנק פגוע בעזרת הכננת המותקנת עליו.

תכונות הראש-הגורר

דרישת המפתח בכל קונספציה של ראש-גורר עם גרור/נתמך היא להשיג יכולת אחיזה וביצועים מקסימליים ויחד עם זאת לשמור על משקל עצמי (ראש-גורר וגרור) קטן ככל האפשר. אחיזה טובה בקרקע ניתן להשיג על-ידי חלוקת עומסים שונה על גבי הסרנים. ביצועים טובים משיגים בדרך כלל באמצעות מנוע בעל הספק גבוה, השומר על מומנטי-ציאה גבוהה בשעה שמספר הסיבובים שלו יורד בצורה חדה.



תמונה 2

כולל של 86 טון תהיה לפחות 71 קמ"ש, יכולת לנוע בשיפוע של 3% במהירות קבועה של 22 קמ"ש; מערכת ההנעה תפעל כראוי, ללא ציוד עזר מיוחד, בטמפרטורות סביבה שבין 32°C — ל- 52°C . על-ידי שימוש בציוד-עזר נדרשה אפשרות תיפעול גם בטמפרטורה של 46°C . היצרנים נדרשו להגיש דגם ראשון בתוך שנה ממועד פרסום האופיון.

בספטמבר 1976 הציגה חברת אושקוש את ה-M911 (תמונה 1) כדגם לשימוש צבאי, המקביל לדגם המסחרי שלה — F2365. השינויים העיקריים שנעשו בדגם המסחרי כללו הוספה של סרן-עזר, החלפת תיבת-הלוכים והגדלת מרחק הסרנים. לאחר שנבחן, נמצא ה-M911 מתאים לכל דרישות האופיון והוא הוכנס לשימוש פעיל בצבא ארה"ב. בגורר הזה מורכבים, מנוע דטרויט-דיזל (8 צילינדרים), בעל הספק של 430 כ"ס ב-2100 סל"ד ותיבת-הלוכים אוטומטית מתוצרת אליסון. ה-M911 קומפקטי במימדיו: — אורכו — 9.1 מטר, רוחבו 2.88 מטר וגובהו 3.5 מטר. משקלו העצמי 13 טון וכשהוא עמוס מגיע משקלו הכולל ל-89 טון.

מערכ-גרמניה

הגורר הראשון שפותח בגרמניה במיוחד להובלת טנקים הוצג לראשונה בשנת 1958 על ידי חברת פאון הגרמנית. לדגם L912/VSA של החברה היתה הנעה 6×6 , משקלו העצמי הגיע ל-17 טון והוא היה מסוגל לגרור עומס כולל של 80 טון. מנוע הדיזל מתוצרת דויטש שהורכב בדגם זה היה בעל 12 צילינדרים, מקורר-אוויר, והוא פיתח הספק של 300 כ"ס ב-2300 סל"ד. מהירותו המקסימלית של הגורר הגיעה ל-57 קמ"ש וטווח הנסיעה עד לתידלוק הגיע ל-800 ק"מ.

בשנת 1964 הציגה חברת פאון דגם חדש של ראש גורר LK 1212/45, שבו הועלה הספק המנוע ל-340 כ"ס ב-2300 סל"ד.

פיתוח גוררי טנקים מאז מלחמת-העולם השנייה.

בנוסף לצי המטוסים, הבנויים לאפשרות של הובלת טנקים בהיטס, יש לצבא ארה"ב צי מגוון של גוררים יבשתיים. גוררי הטנקים הראשוניים שנבנו בארה"ב לאחר מלחמת העולם השנייה היו מסדרת ה-M123 (תמונה 1). בגורר זה, שהיה בעל הנעה 6×6 , הורכב מנוע-בנזין מתוצרת לה-רואה, שפיתח הספק של 286 כ"ס ב-2600 סל"ד. בדגם מתקדם יותר — M123A1 (תמונה 1) הועלה הספק המנוע ל-300 כ"ס. משקלו העצמי של הגורר היה 15.8 טון והעומס המקסימלי שיכול היה לשאת הגיע ל-61 טון בדרך סלולה ול-36 טון בדרך לא-סלולה. הגוררים מסדרת M-123 שימשו גם את הגרור מסוג "טראק-פוךטר", שבפיתוחו עסקו האמריקאים בשנות השישים.

בתחילת שנות השבעים (במסגרת פרויקט ה-MBT המשותף עם מערב-גרמניה) פיתחה ארה"ב את הגורר M746, בעל הנעה 8×8 . בגורר הזה הורכב מנוע דטרויט-דיזל, 12 צילינדרים, שפיתח הספק של 600 כ"ס ב-2500 סל"ד. משקלו העצמי של המוביל הגיע ל-20 טון. והוא היה מסוגל לגרור גרור עמוס עד למשקל כולל של 62 טון. הספקו הגבוה של המנוע ב-M746 איפשר ביצועים טובים, שהתבטאו במהירות מקסימלית של 62 קמ"ש בעומס מלא, בעליה בשיפוע של 2.5% במהירות של 40 קמ"ש ובשיפוע של 15% — ב-6 קמ"ש. טווח הנסיעה עד לתידלוק הגיע ל-300 ק"מ.

בשנת 1976 פירסם הצבא האמריקאי אופיון דרישות לראש-גורר חדש. באותה שנה השתתפה בארה"ב התפישה, שלפיה רכב למטרות צבאיות חייב להיבנות מיסודו כרכב צבאי, וזאת בשל העלות הגבוהה של תכנון וייצור רכב יעודי.

עיקר הדרישות שהופיעו באופיון החדש נגעו לביצועים אוטומוטיביים משופרים: המהירות המקסימלית בעומס

בריטניה

בתקופת מלחמת-העולם השנייה השתמש הצבא הבריטי בגורר "דאיימונד-טי-980". גורר זה היה עד לתחילת שנות השישים הכלי היחידי להובלת טנקים. באותה תקופה פותחה בבריטניה סדרת הגוררים מסוג "אנטר", שהחליפו את הדאיימונד-טי. ההבדלים בין הדגמים השונים של ה-אנטר, שהיו בעלי הנעה 6x4, התבטאו בהגדלת הספק המנועים. בשיפור המבנה הבסיסי של הראשי-הגורר, בהקטנת המשקל העצמי ועוד.

באמצע שנות השישים פיתחה חברת "סקמל" הבריטית ראשי-גורר הידוע בכינויו קונטרקטור (נמצא בשימוש צה"ל) הגורר הזה פותח במקורו למטרות אורחיות, אולם לאחר סדרת ניסויים נמצא מתאים לשמש גם למטרות צבאיות. לקונטרקטור יש 7 דגמים שונים, המייצגים כושר נשיאה כולל בתחום שבין 86 ל-244 טון.

באמצע שנות השבעים הוצגו בבריטניה שני דגמים מתחרים של ראשי גורר — ה"קומנדר" (תמונה 3) שיוצר על ידי חברת סקמל וה"סופר-הולמסטר" שיוצר על ידי פוֹדֶן. ב"קומנדר מורכבים, מנוע דיזל (12 צילינדרים) מתוצרת רולס-רויס, המסוגל לפתח הספק של 625 כ"ס ב-2100 סל"ד ותיבת-הילוכים מתוצרת אליסון. הוא מסוגל לשאת עומס כולל של 85 טון ומהירותו המקסימלית 61 קמ"ש. ב"קומנדר הוקדשה תשומת-לב מיוחדת לנושא הנדסת-אנוש, ואחת הדוגמאות לכך היא רמת הרעש הנמוכה המורגשת בתא-הנהג. לעומת הקומנדר, מצויד ה-סופר-הולמסטר במנוע קמינס המסוגל לפתח הספק של 400 כ"ס ב-2100 סל"ד ותיבת-הילוכים מייצור עצמי של פוֹדֶן.

צרפת

שנים רבות לאחר מלחמת-העולם השנייה שימש המוביל האמריקאי M26 כרכב יעודי להובלת טנקים בצבא-צרפת.

בשנות השבעים, במסגרת פרויקט משותף עם ארה"ב, הציגה חברת פאון דגם חדש לגורר 8x8 — L1212/50VS, בעל מנוע שהספקו המקסימלי 640 כ"ס ובעל יכולת נשיאה של 200 טון בקירוב. הגורר הזה לא יוצר בכמויות מסחריות, מאחר שבמקביל לפיתוחו הוחל בפיתוח מוביל לפרויקט ה-MBT בשינוף עם ארה"ב. הפסקת הפעילות בפרויקט ה-MBT, הביאה להפסקת הפיתוח המשותף וליצורם של שני מובילים: בארה"ב — M746, שיוצר ע"י קריזלר ובגרמניה SLT 50-2 שיוצר על ידי החברות פאון וקרופ.

ה- SLT 50-2 (תמונה 4), הידוע בכינויו "פיל", אמור להיות "המלה האחרונה" בתחום גוררי הטנקים. ה"פיל", בעל הנעה 8x8, מצויד במנוע-דיזל 8 צילינדרים מתוצרת MTU, המסוגל לפתח הספק מקסימלי של 730 כ"ס. המתלה בנוי משילוב של מוטות-פיתול וקפיצים קוניים היוצרים יחד ריסון פרוגרסיבי. מערכת בלמי-האוויר מצוידת בשסתום מחלק המבטיח יעילות מקסימלית בבלימה, הן של הראשי-הגורר והן של הגרור. תא-הנהג, התלוי כקורה רתומה מצידה האחד, הוא מרווח מאוד ויש בו די מקום ל-4 אנשים. הביצועים של הפיל הם מהטובים שהושגו עד כה. מהירותו המקסימלית כ-65 קמ"ש והוא מסוגל לשאת עומס של 70 טון. יכולת התנועה שלו בשטחים קשים מרשימה — הוא מסוגל, כשהוא עמוס, לטפס בשיפועים של עד 30%! קיבולת מכלי הדלק כ-800 ליטר וטווח-הנסיעה כ-500 ק"מ.

הולנד

בידי הצבא ההולנדי מצוי הגורר FTT3500 (תמונה 5) המיוצר על ידי חברת דאף. בגורר זה שבמקורו הוא מסחרי, הורכבו, מנוע דטרויט-דיזל (12 צילינדרים) המפתח הספק של 475 כ"ס ב-2100 סל"ד, ותיבת-הילוכים אוטומטית מתוצרת אליסון. מהירותו המקסימלית כ-64 קמ"ש ומשקלו הכולל בעומס כ-100 טון.

תמונה 3





תמונה 4

הראש-הגורר R3464. בגורר זה הורכב מנוע טורבו, 6 צילינדרים בטור, שהספקו 275 כ"ס ב-2200 סל"ד. מהירותו המקסימלית בעומס כולל של 72 טון מגיעה ל-55 קמ"ש.

לסיכום, ניתן לומר כי גוררי-הטנקים בשנות ה-80 הוא חלק בלתי-נפרד מהמערך הלוגיסטי של כל צבא מודרני, ותפקידיו בהבאת הרק"מ אל שדה הקרב וממנו תופשים חלק נכבד בכל תכנון אופרטיבי. מגמת הפיתוח הבולטת בתחום גוררי-הטנקים, היא המעבר לכלים מהירים, חזקים וגדולים יותר, המותאמים להתפתחות הטנקים. מהירות הראש-הגורר גדלה למרות הגדלת העומס עליו וכיום ניתן למצוא גוררים, אשר בעומס כולל של 90 טון מגיעים למהירות של 70 קמ"ש. יש לזכור, כי גם מחירו של הראש הגורר עלה בהתאם, ולכן אין צבאות רבים המסוגלים לרכוש ולתחזק צי גדול של גוררי-טנקים.

רק בסוף שנות השישים פיתחה צרפת ראש גורר משלה — TBO-15 M3 בעל הנעה 6x6 שתוכנן ויוצר על ידי חברת בֶּרְלִיֶה.

בשנות השבעים פתחה חברת ברליה את ה-TRH-350 (תמונה 4) שנבחר לשמש כגורר עיקרי בצבא-צרפת. בגורר זה, שהוא בעל הנעה 6x4 הורכבו מנוע מתוצרת ברליה, בעל הספק 352 כ"ס ב-2000 סל"ד ותיבת-הילוכים מתוצרת פולר. ה-TRH-350 מסוגל לשאת טנק שמשקלו 55 טון.

במקביל פיתחה החברה הצרפתית סֶבִּיִּם דגם מתחרה — SM-340-VT שבו הורכבו מנוע 335 כ"ס ותיבת-הילוכים אוטומטית, שניהם מתוצרת סביים. הגורר הזה לא נבחר נבחר על-ידי הצבא הצרפתי, אך ידוע כי הוא נמכר לארצות רבות.

לקראת סוף שנות השבעים פותח בצרפת מוביל טנקים 8x6 הידוע בשם "טידלִיִּים-40". ייחודו של גורר זה בשיטת העמסת הטנק עליו (תמונה 9). הביצועים שלו מרשימים: מהירות מקסימלית של 90 קמ"ש בעומס מלא ויכולת לטפס בשיפועים של 30% בקירוב. מגבלתו העיקרית נעוצה בכושר ההעמסה הנמוך היחסית — כ-40 טון, המגביל משמעותית את יכולתו לשאת טנקים מודרניים.

ספרד

ספרד נכנסה לפיתוח עצמי של ראש-גורר בשנות השישים. בדגם הראשון שיוצר אז על ידי חברת פֶּנְסו הורכבו, מנוע 6 צילינדרים מתוצרת פנסו שהספקו המקסימלי 352 כ"ס ותיבת-הילוכים בעלת 13 הילוכים. מהירותו המקסימלית 63 קמ"ש, וכשהוא עמוס, הוא מסוגל לטפס בשיפוע של 31%. יכולת הנשיאה הכוללת שלו מגיעה ל-80 טון.

בתחילת שנות השבעים פיתחה חברת קרייזלר-ספרד את

אמינות ואחריות לזה אתה מצפה מהמוביל

רוטל תעשיות ומסחר בע"מ
מתמחה בשוק כימיקלים מתחכמים
חומרי איטום דבקים.
אנו עושים זאת מאז 1969
תוך גידול מתמיד,
ספור הידע ואיכות השירות.
לנו צוות הנדסי מעולה לשרות לקוחות
ואנו מייצגים את הטובים
שביצרני החומרים, מכניקה ותעופה.
לאלקטרוניקה, בהספקת חומרים
נשמח לשרתך בכל שלבי התכנון
ויעוץ בכל שלבי התכנון
היצור והאחזקה.



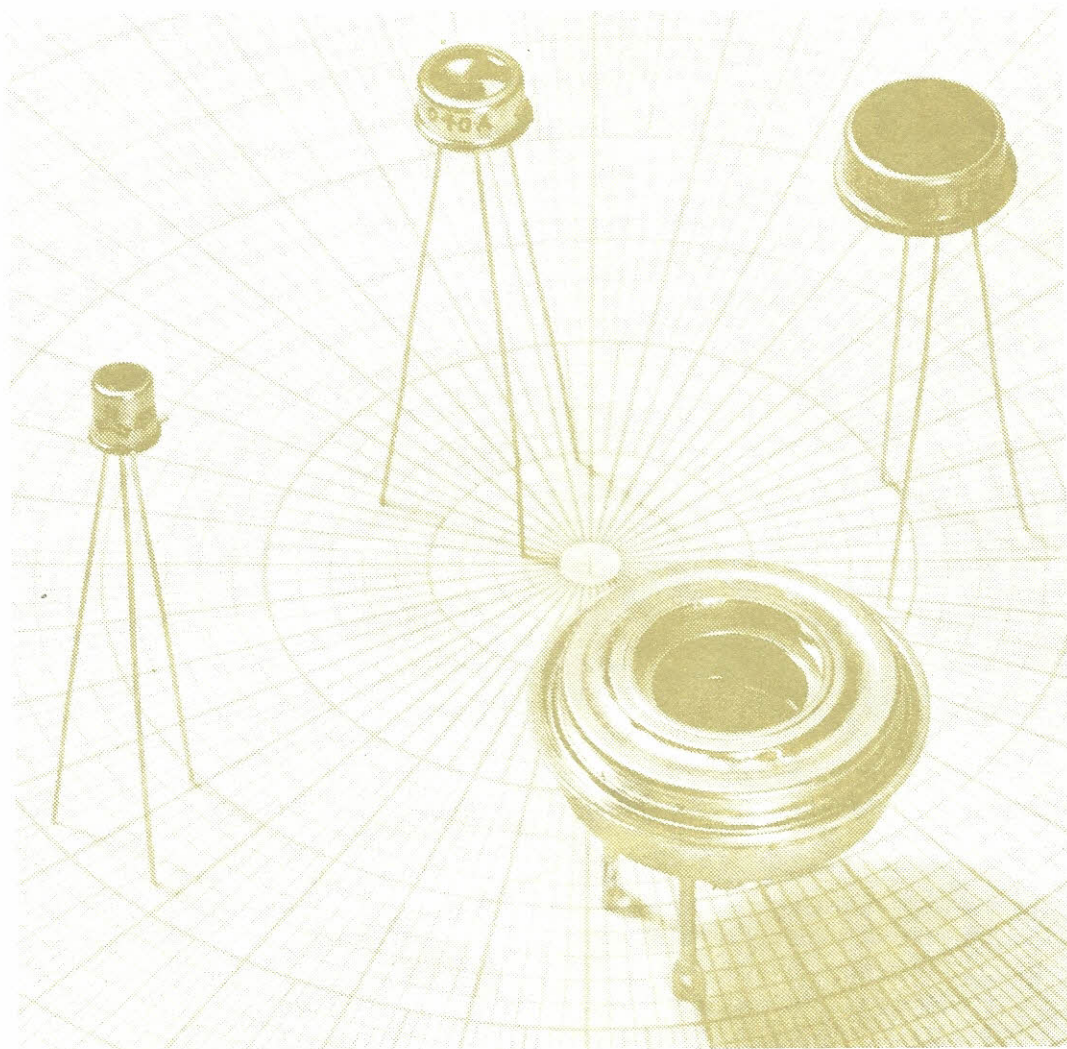
LOCTITE
PERMATEX
DEVCON
E.F. HOUGHTON
EVACOR
PERENNATOR
HYSOL DIV.
CELTITE
KENT-MOORE
SOFRAGRAF
ROCASIM
TERRELL
SEPSCO

חומרים למטרות הבאות:

- אבטחת ברגים • קבוע מיסבים • איטום צנרת ושטחים
- איטום והדבקת מתכות • פלסטיק וזכוכית
- חומרים ליצור תבניות • שמנים לחיתוך מתכת
- מונעי חיכוך • סליקונים • אפוקסי • פוליאורטן
- גומי סליקון • יציקות איטום לאלקטרוניקה
- צפויים באבקה • חומרי מלוי (אפוקסי מתכת)
- דבקים וחומרי איטום אנארוביים
- דבקים לפזור נוזלים • חומרי התכה
- דבקים ליציקת אפוקסי וכו' • מערבלי ואקום

רוטל תעשיות ומסחר בע"מ
ת-א מרחוק 21 ת.ד. 33106 טל. 233735, 220375



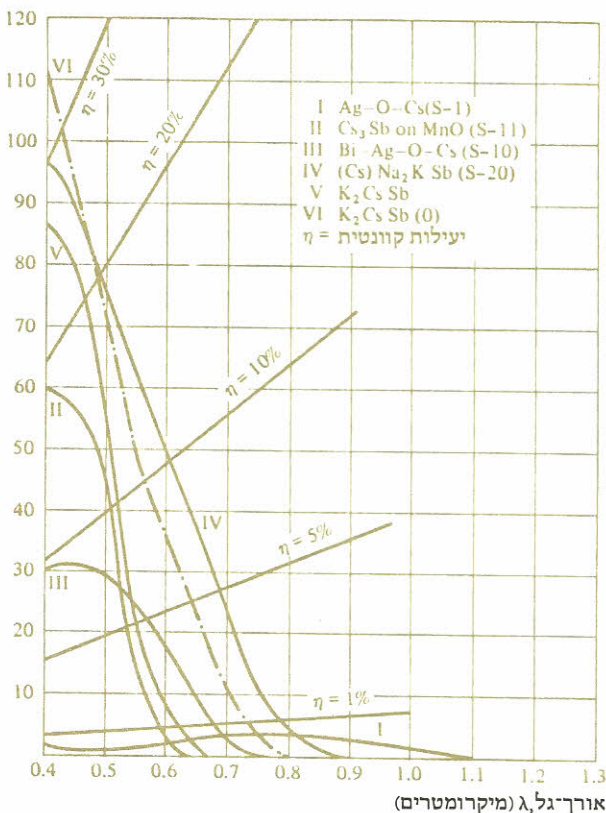


גלאים אופטיים

מאת יהונתן נמיר

תפקידו של הגלאי-האופטי הוא לגלות קרינת אור הפוגעת בו ולתרגם זאת לפולס חשמלי. הפולס החשמלי מקבל, בדרך כלל, "טיפול" אלקטרוני על ידי מערכת הגברה, סינון-תדירות, יישור, גזירה וכד' ומנוצל לפי דרישות המערכת. במאמר שלפנינו נסקור סוגים שונים של גלאים-אופטיים נעמד על העקרונות הפיסיקליים שלהם, תכונותיהם השונות והשימוש בהם.

היענות לאור
(mA/W)



ציור 2 — היענות לאור של גלאים הפולטים-באור.

מהחומר. האלקטרון הנפלט הוא בעל אנרגיה קינטית לפי הנוסחה $E = h\nu - \Phi$. ברור מתוך הנוסחה, שכדי ליצור פליטת אלקטרונים צריכים להקריץ אור בתדר כזה שבו E חיובי, או $h\nu > \Phi$. מכאן, שמתחת לתדר מסוים (או מעל אורך-גל מסוים) לא תיווצר פליטה פוטואלקטרית, ובאמת, רוב הגלאים הפולטים באור פועלים בתחום העל-סגול ובתחום האור-הנראה ומיעוטם פועל בתת-אדום הקרוב (1 מיקרון).

תגובת הגלאים נמדדת בזרם-פליטה ליחידת הספק-קרינה הנופל על הגלאי (mA/W) והיא תלויה, כאמור, במידה רבה באורך-הגל. הזרם תלוי בעוצמת הקרינה באופן ליניארי, אך כמעט ואינו תלוי במתח שביך האלקטרודות, בתנאי שמתח זה גבוה ממח אופייני של 50 וולט בקירוב.

בציור 2 מתוארים עקומים של כמה חומרים הפועלים בתחום העל-סגול ובתחום האור-הנראה. העקומים מתארים את תגובת הגלאים כפונקציה של אורך-הגל של הקרינה הפוגעת. הקיום הישירים מציינים את היעילות הקוונטית באחוזים. יעילות זו, מוגדרת כמספר אלקטרונים הנפלטים ע"י 100 פוטונים. לדוגמה, במצב שבו כל פוטון גורם לפליטת אלקטרון, אנו אומרים, שהיעילות הקוונטית היא 100% — תופעה שלמעשה אינה קורית.

רבים ומגוונים הם השימושים של הגלאי הפולט-באור. נזכיר כמה דוגמאות.

"עין אלקטרונית"

"עין" כזו, הנמצאת, למשל, בפתח מעלית-נוסעים, רגישה

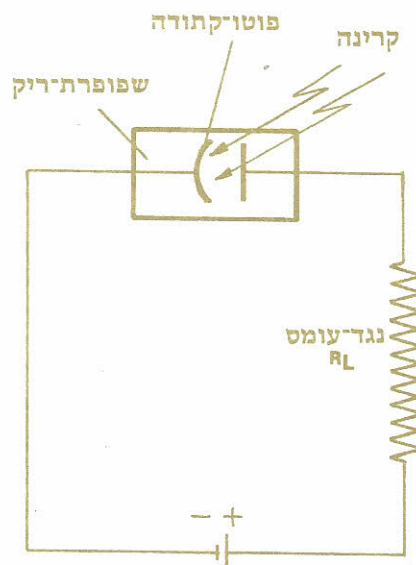
הגלאי-האופטי, או גלאי-אור (Photo Detector), מגיב לאור לא רק בתחום-הנראה, שהוא כידוע תחום צר, הכולל קרינה באורכי-גל שבין 0.4 ל-0.7 מיקרון (1 מיקרון-אלפית מ"מ). למעשה, הגלאים-האופטיים, לסוגיהם השונים, מגיבים לקרינת אור החל מה-על-סגול (אורך-גל 0.1 מיקרון) ועד לתת-אדום הרחוק (אורך-גל 30 מיקרון). כל גלאי בפני עצמו רגיש, כמובן, לתחום ספציפי יותר המאפיין אותו, והתלוי בסוג החומר הפעיל שבו ובמבנה הגלאי.

תא פולט-באור — פוטואמיסיבי

התא הפולט-באור, הוא ה"ותיק" ביותר במשפחת הגלאים-האופטיים. תאים כאלה נתגלו ונבנו עוד בשנות ה-80 של המאה הקודמת מבלי שיימצא לתופעת הפליטה באור הסבר פיסיקלי.

התא בנוי משפופרת-זכוכית ובה שתי אלקטרודות, קטדה ואנודה, המחוברות למקור-מתח חיצוני (ראה ציור 1). כאשר קרינה פוגעת בקתודה (פוטו-קתודה) היא גורמת לפליטת אלקטרונים המואצים לאנודה ויוצרים במעגל זרם-חשמלי. המתח הנמדד על נגד העומס R_L יחסי לזרם זה. בדרך כלל, שורר בשפופרת זיק אך לעיתים היא מכילה גז בכמות קטנה. מולקולות הגז גורמות להגברת הזרם, בכך שהאלקטרונים המואצים פוגעים בדרכס בגז, מייננים אותו וגורמים לפליטת אלקטרונים נוספים. זרם האלקטרונים מוגבר בהמשך על-ידי אלמנט הנקרא מְכִפִּילֹר, שבו עובר הזרם כמה דרגות של הגברה. יתרונה של שפופרת הגז, בכך שהיא מגבירה את הזרם, אך חסרונה בכך שהיא מגיבה באיטיות, בעקבות התגובה האיטית יחסית של שרשרת היינון.

את ההסבר הפיסיקלי לתופעת הפליטה באור נתן איינשטיין בשנת 1905, בהתבססו על תאוריית הקוונטים שהתפתחה באותה עת. לפי תאוריה זו, האור מורכב מ"פוטונים" וכל פוטון נושא איתו מנת אנרגיה השווה ל- $h\nu$; הוא — h — מספר קבוע הקריה ה"קבוע של פִּלְאָנְק" h הוא תדר-האור, השווה למהירות האור (300,000 ק"מ לשנייה) המחולקת באורך-הגל. פוטון כזה, הפוגע באלקטרון שבחומר, נאלץ לוותר על כמות אנרגיה Φ הדרושה כדי לחלץ את האלקטרון



ציור 1 — תא פולט-באור — פוטואמיסיבי.

לשינויים באור הנופל עליה. ה"עין" היא תא פולט-באור, שאליו מכוונת אלומת-אור קבועה הגורמת לזרימה רציפה במעגל. כאשר קרן-האור מופסקת, על-ידי מעבר אדם, למשל, מופסק הזרם במעגל ושינוי זה גורם להפעלת מערכת (כגון פתיחת דלת המעלית).

שפופרת-הדמאה

שפופרת-הדמאה, היא החלק המרכזי והחשוב בכל מערכות ראיית-לילה. תפקיד השפופרת הוא להגביר את בהירות הנוף שאליו אנו צופים, כאשר עוצמת התאורה נמוכה מאוד (לילה). הדמות החלשה מתמקדת בעזרת העצמית (אופטיקטיב) על פוטו-קתודה וגורמת לפליטת אלקטרונים. כמות האלקטרונים הנפלטים מאזורים שונים במשטח נמצאת ביחס ישר לעוצמת האור הפוגע. האלקטרונים מואצים על-ידי מתח חשמלי וצוברים אנרגיה קינטית. הם פוגעים במסך זרחני בעוצמה רבה ומשחררים פוטונים, ובכך למעשה משוחזרת התמונה המועברת לעין-הצופה באמצעות עינית. התמונה החדשה, בהירה הרבה יותר, בשל כמות הפוטונים הגדולה בהרבה שנפלטת מהמסך הזרחני בעקבות האלקטרונים האנרגטיים שפגעו בו.

שפופרת מצלמת-טלוויזיה

בדומה לשפופרת ההדמאה, גם כאן מתמקדת התמונה על משטח פוטו-קתודה הפולט אלקטרונים. האלקטרונים המואצים לכיוון האנודה אינם פוגעים במשטח זרחני, אלא במטרה, וזו משחררת אלקטרונים נוספים. האיזור שבו פגעו אלקטרונים רבים פולט עוד אלקטרונים ונטען במטען חיובי. קרן-אלקטרונים, הסורקת בתבנית מסוימת, פוגעת במטרה ושבה על עקבותיה. כאשר הקרן פוגעת באיזור חיובי יותר, נבלעים יותר אלקטרונים, וכמות האלקטרונים החוזרים קטנה יותר. כך מתקבל איפנון של קרן-האלקטרונים, המשקף את התמונה הרגועה הממוקדת על משטח הפוטו-קתודה.

גלאי מוליך-באור — פוטו-קונדוקטיבי

הגלאי המוליך-באור פועל לפי עיקרון שונה לחלוטין מזה של הגלאי הפולט-באור. החומר הפעיל שבו, הוא לרוב מוליך-למחצה. קרינת-אור הנופלת על הגלאי גורמת לעירור אלקטרונים מרמת-ערפיות לרמת-הולכה. לפי הפיסיקה של המצב המוצק — אלקטרונים במצב ערפיות, כלומר,

אלקטרונים ברמות-אנרגיה נמוכות הקשורים חזק לגרעין-האטום — אינם גורמים למוליכות חשמלית. רק אלקטרונים ברמות-הולכה גורמים לתופעת המוליכות החשמלית של החומר. בחומר מוליך-למחצה, במצב רגיל, כל האלקטרונים נמצאים במצב ערפיות והחומר הוא מבודד חשמלי. עם הקרנת אור על החומר, עוברים חלק מהאלקטרונים לרמת-הולכה והחומר מתחיל להוליך.

בציור 3 מתואר מעגל-חשמלי הכולל תא מוליך-באור. קרינת האור הנופלת על התא גורמת להגברת המוליכות שלו, כלומר להקטנת ההתנגדות. כאשר יורדת ההתנגדות במעגל, גובר הזרם, ומתח-היציאה הנופל על נגד-העומס גדל.

גם התא המוליך-באור רגיש לתחום מסוים של אורכי-גל. למעשה, גם כאן דרושה לפוטון אנרגיה מינימלית מסוימת כדי להעלות את האלקטרון לרמת-הולכה. אנרגיה זו קטנה יותר מאשר אנרגיית שחרור האלקטרון בתא הפולט-באור, ועל כן רגישים התאים המוליכים-באור לאורכי-גל ארוכים יותר — בתחום 0.7—4 מיקרון, וחלקם מגיב גם בתחום התת-אדום הרחוק (10—30 מיקרון).

התא המוליך-באור, ככל חומר מוליך-למחצה רגיש מאוד לשינויי טמפרטורה. ידוע, שהמוליכות החשמלית של מוליך-למחצה גדלה עם עליית הטמפרטורה — התנהגות הפוכה מזו של מתכות. עליית הטמפרטורה גורמת לשינויים בתחום-העבודה של הגלאי. והוא נעשה רגיש פחות בקצה התחום של אורכי-הגל הארוכים. תופעה זו מגבילה בצורה משמעותית את השימוש הצבאי בתא המוליך-באור בתנאי טמפרטורה קיצוניים. בנוסף לכך, ישנן מערכות רבות מן הסוג הזה שבהן דרושה יחידת קירור וזו מסרבלת את המערכת.

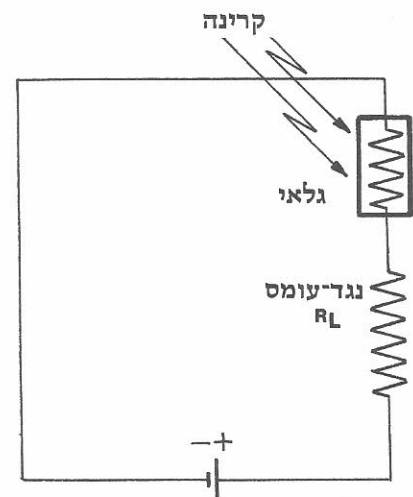
התנגדות התא המוליך-באור משתנית באופן קיצוני כתוצאה מהקרנת אור. ההתנגדות של אחד התאים הנפוצים מסוג זה — עופרת-סולפידיית PbS — נעה בתחום של $1\text{M}\Omega$ (1 מיליון אוהם), ובהקרנה בעוצמה רבה יורדת התנגדותו עד לכדי $1\text{K}\Omega$ (1000 אוהם). על מנת להשתמש בתא כזה ביעילות, עלינו לבחור נגד-עומס מסוים ולהקרין את התא בעוצמה נמוכה יחסית, כך שתישמר הליניאריות בין שינוי מתח-היציאה לבין עוצמת-הקרינה.

שימושים

הגלאי המוליך-באור, מגיב בתחום רחב יותר של אורכי-גל לעומת הגלאי הפולט-באור, ובהתאם לכך שימושיו רבים ומגוונים. כאמור, החומר הפעיל בגלאי הוא זה הקובע את תחום אורכי-הגל, ובהתאם לכך את השימוש.

מצלמות הטלוויזיה המודרניות (שפופרות מסוג וידיקון, למשל) פועלות ברובן בשיטת ההולכה-באור. האור הבא מהנוף מתמקד על משטח המוליך-באור, שמוליכותו החשמלית באיזוריו השונים משתנית בהתאם לכמות האור שנופלת עליו. קרן-אלקטרונים סורקת, הסוגרת מעגל, מזרימה את האלקטרונים כפונקציה של המוליכות וכך נוצר "תרגום אלקטרוני" של התמונה האופטית.

מערכות ראיית-לילה מסוג "הדמאה-תרמית", שהתפתחותם קיבלה תנופה אדירה בשנים האחרונות, פועלות לפי העיקרון של פליטה תרמית של גופים חמים על רקע קר. במתקנים אלה מצויה מראָה מסתובבת, הסורקת את הנוף ומטילה אותו על מערך-הגלאים. חלק מהמערכות הללו מגלות אור בתחום 3—5 מיקרון, והגלאי המקובל בתחום הזה הוא InSb . במערכות הפועלות בתחום 8—14 מיקרון, מקובל הגלאי מסוג HgCdTe .



ציור 3 — תא מוליך-באור — פוטו-קונדוקטיבי.

גלאי צומת P-N

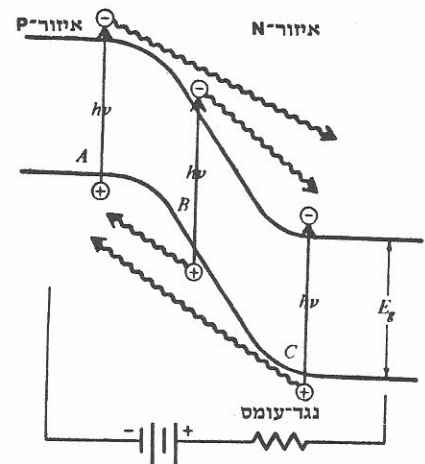
בשם זה מכנים את כל משפחת הגלאים המכילים פוטו-דיודה. הדיודה, כידוע, היא אלמנט בלתי-סימטרי, המעביר זרם בכיוון אחד בלבד. הדיודה בנויה מחומר מוליך-למחצה (סיליקון, גרמניום) "המזוהם" בריכוז קטן של שני סוגי אטומים: צד אחד N- מזוהם באטומים בעלי נטיה לתרום אלקטרונים, ואילו הצד השני P- מזוהם באטומים בעלי נטיה לספוח אלקטרונים. האלקטרונים מאיזור N חודרים לאיזור P ויוצרים מתח המתנגד לחדרה הזו.

כאשר מספקים ממתח-קדמי, דהיינו, מתח חיובי, לאיזור P גורם הדבר להקטנת הפרש-הפוטנציאלים ולזרימה גדולה שבה משתתפים אלקטרונים מאיזור N ו"חורים" (יונים חיוביים) מאיזור P. כאשר מספקים מתח הפוך, גדל הפרש הפוטנציאלים והזרם ההפכי הוא קטן ביותר, שכן, מוליכי המטען המשתתפים בו — אלקטרונים מאיזור P ו"חורים" מאיזור N — הם נדירים. כאשר מקרינים אור על הצומת (ראה ציור 4) האור נבלע על-ידי האטומים. ברמת-אנרגיה גבוהה ייפרד האטום ליון (חור) ולאלקטרון, ואלה יגרמו לזרימה במעגל. גם כאן תהיה הזרימה יחסית לעוצמת-הקרינה, והיא תימדד כמתח על נגד-העומס. ככל שנגדיל כעת את המתח יגדל הפרש הפוטנציאלים והאלקטרונים והחורים יואצו מהר יותר ויתרמו לזרם גדול יותר.

חסרונה הגדול של צומת P-N רגילה, הוא בכך שתחום הצומת צר מאוד (כמה מיקרונים) ולכן יעילות הבליעה של הפוטונים נמוכה. תחום הצומת חייב להיות צר, כדי לאפשר למוליכים לעבור את הצומת במהירות מבלי שילכדו עם מטען הפוך בתחום הצומת ואז לא יתרמו מאומה לזרימה.

על מנת להגדיל את שטח הבליעה של הפוטונים, משתמשים בצומת P-i-N, שהיא צומת P-N שהוכנסה בה שכבת חומר בעל התנגדות גבוהה. שכבת החומר גורמת לכך שרוב מפל-המתח יפול עליה, ובהיותה גדולה יחסית (עובי 2—5 מיקרון, לעומת פחות מ-1 מיקרון בצומת P-N) היא בולעת אחוז ניכר מהפוטונים. כל פוטון שנבלע בשכבה ויוצר זוג אלקטרון-חור, תורם לזרימה. היעילות הקוונטית בתחום התת-אדום הקרוב בסוג זה של גלאים גדולה בהרבה מזו של גלאים הפולטים-באור, ומגיעה ל-50% ואף יותר.

הפוטו-טרנזיסטור — בדומה לפוטו-דיודה — הוא



ציור 4 — זרימה בצומת P-N. בציור מתוארות רמות האנרגיה של האלקטרונים שנוצרו לאחר בליעת האור.

טרנזיסטור N-P-N או P-N-P, המופעל במימתח בסיס-פולט אחורי. הפולס הפוטו-אלקטרוני מוגבר בצורה קוית וצורתו, כפונקציה של הזמן, זהה לצורת הפולס בפוטו-דיודה. בכך אנו מרויחים הגברת הפולס ללא עיוותו.

כדי לגלות פולסים חלשים ומהירים, פותח אלמנט הנקרא פוטו-דיודה מסוג "אשד" (Avalanche Photodiode). זוהי למעשה פוטו-דיודה רגילה הפועלת במימתח אחורי גבוה מאוד (400 וולט). כתוצאה מהמימתח הגבוה, הזוגות אלקטרון-חור, המואצים בצומת, צוברים אנרגיה קינטית גדולה ומספיקים ליצור זוגות נוספים (השווה עם מקפילור בגלאי פולט-באור). כך נוצרת תגובת שרשרת, והזרם מוגבר.

יתרונה של פוטו-דיודה מסוג "אשד", הוא בגילוי פולסים מהירים ובעלי עוצמה חלשה מאוד, ובשל כך משתמשים בה במד-טווח-לייזר. מד-טווח-לייזר מודד את משך הזמן שבין שידור הקרן. פגיעתה במטרה וחזרתה לגלאי. על-ידי הכפלת הזמן במהירות האור מקבלים את המרחק למטרה. עוצמת הפולס החוזר היא בתחום של ננו-ואט (10^{-9} ואט) ומשך זמן הפולס כ- 10^{-10} ננו-שניות.

אלמנט מפורסם הוא התא הפוטו-וולטאי. התא הזה בנוי אף הוא מצומת P-N ללא כל מימתח חיצוני. אור, הנופל על הצומת, יוצר זוגות אלקטרון-חור, הגורמים להפרש פוטנציאלים בין שני קוטבי הצומת. השימוש הנפוץ בתאים אלה, הוא בהפיכת אנרגיית-השמש לאנרגיית-חשמלית.

ביצועים של גלאים-אופטיים

הגלאי-האופטי האידיאלי הוא גלאי בעל היענות גדולה לאור, כלומר, זהו גלאי המפיק עוצמת-זרם גדולה מכל יחידת-אור הנופל עליו. היענות הגלאי, תלויה כמובן בפרמטרים רבים — אורך-גל, טמפרטורה, ממדים פיזיים של הגלאי, היעילות הקוונטית שלו ועוד.

כל גלאי מייצר זרם גם ללא הקרנת אור. זרם זה נקרא "זרם-חושך" והוא הגורם העיקרי ל"רעש" בגלאי. רגישותו של הגלאי מוגדרת כ-NEP (Noise Equivalent Power) ומשמעותה — כמות האור הנופלת על הגלאי ויוצרת אות חשמלי השווה לממוצע הרעש ($S/N = 1$).

בגלאי אידיאלי, נשאף, כמובן, לצמצם את הרעש (או את ה-NEP) עד למינימום. מערכת העיבוד האלקטרוני בנויה לרוב כך, שרק פולס מעל הספק מסוים (הנקרא "סף-קליטה") נקלט כפולס במערכת. ככל שרעש הגלאי נמוך יותר, נוכל להקטין את סף-הקליטה ועדיין לקלוט פולסים חלשים. יחד עם זאת, יש להגביה את סף-הקליטה מעל הרעש כדי לא לקבל "אזעקות-שוא" — פולסים מזוייפים הנגרמים כאשר הרעש עובר את הסף.

כושר הגילוי של הגלאי, המסומן ב-D (Detectivity), שווה ל- $1/NEP$. רגישות הגילוי תלויה במידה רבה בתדר פולסי-האור (או במשך הזמן שלהם) הפוגעים בגלאי. כן תלויה הרגישות בשטח הגלאי. רעש המערכת גדל לפי שורש רוחב-הסרט של התדר ולפי שורש שטח-הגלאי. כושר-הגילוי-הסגולי המסומן ב-D* הוא הערך ההופכי של הרגישות הסגולית (הספק-רעש לשורש רוחב-הסרט). בספרות מתוארים עקומים רבים המתארים כושר-גילוי-סגולי של גלאים כפונקציה של אורך-גל של תדר-האור וכו'. לדוגמה, כושר הגילוי של הגלאי המוליך-באור — PbS , בטמפרטורת החדר, ובקרינה באורך גל 3—2 מיקרון מגיע ל- $10^{11} \sqrt{Hz} \text{ cm}^2/\text{W}$. כיום קיימים גלאים, הרגישים ב-3 סדר-גודל מעל ערך זה (פ-1000) ואף יותר.



ראשי-נפץ לטילים

מאת אלי גילת

המאמץ העיקרי בפיתוח טילים חדישים מושקע במכללי ההנעה וההנחיה. פועל יוצא של מצב זה, היא העדפת מערכות ההנעה וההנחיה על פני ראשי-הנפץ בהקצאת נפח גדול יותר ו"מיוחס" יותר בתוך הטיל. העדיפות הזו עלולה לדחוק את ראשי-הנפץ ל"מיטת-סדום" ולהביא, בסופו של דבר, להחטאת היעדים שנקבעו לטיל.

תכנון הגיוני, הוא דווקא זה המעמיד בראש סולם העדיפויות את ראשי-הנפץ, שממנו נגזרת מידת הנזק למטרה. בהתאם לתכנון ראשי-הנפץ ייקבעו מסלול הטיל באויר ומידת השליטה עליו — ולא להיפך.

מקובל לחשב את מהירות הרסיסים בעזרת נוסחת ג'רני (Gurney). הנוסחה שלפנינו, היא עבור מטען גלילי:

$$V = \sqrt{\frac{2E}{\frac{m_c}{c} + \frac{1}{2}}}$$

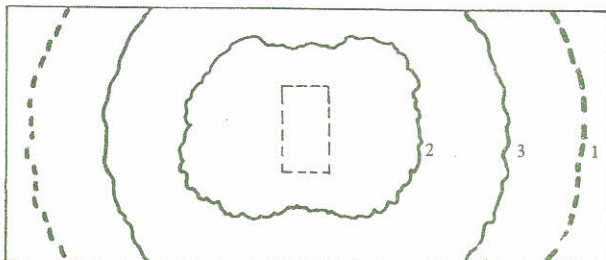
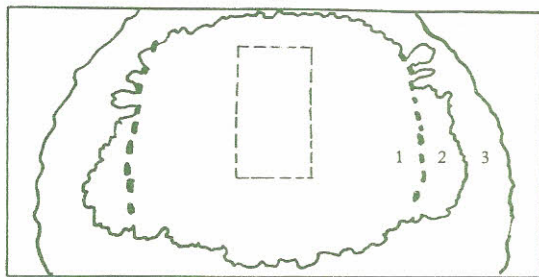
כאשר:

- V — מהירות הרסיסים.
- E — האנרגיה המשתחררת מכל יחידת מסה של החנ"מ.
- C — משקל החנ"מ.
- m_c — משקל המעטפת

הגודל $\sqrt{2E}$, נקרא קבוע-ג'רני, והוא אמור להיות תכונה קבועה של חומר-הנפץ. בפועל, מתקבל מספר שונה, כאשר אותו סוג חנ"מ מופעל בתצורות שונות. במטענים מסוג מטען-קלע, או מטען-חלול (ראה בהמשך), שבהם יש חשיבות עליונה למהירות הרסיס, משתמשים בחומר-נפץ בעלי קבוע-גרני גבוה, כגון אקטול או Comp. B.

תופעת ההדף

הלחצים והמהירויות המתפתחים בשכבות האויר הקרובות למוקד הפיצוץ גורמים לדחיסת האויר, עד כדי יצירת גלי-הלם המתפשט בצורה כדורית. גלי-הלם, שהוא גל של על-לחץ,



ציור 1 — רצף האירועים בפיצוץ ראש-נפץ; א — עם הייזום מתפשטת המעטפת עד אשר אינה מסוגלת עוד לעמוד בלחץ ומתפרקת לרסיסים. ב — סמוך למוקד הפיצוץ נראה גל ההלם (3) המשיג את גוים (2) ואת הרסיסים (1). ג — במרחק גדול יותר ממוקד הפיצוץ משיגים הרסיסים (1) את גלי-הלם (3) ומאחוריהם דועכת השפעת הגוים.

בין המרכיבים השונים של הטיל קיימים קשרי-גומלין הדוקים. מיחסי הגומלין הללו נובעים השיקולים המובאים בחשבון בעת תכנון הטיל. להלן העיקריים שבהם:

סוג ההנחיה או הפיות — בחירת שיטת ההנחיה עשויה לקבוע את מיקום ראש-הנפץ. הנחיה טלויזיונית, לדוגמה, או התבייתות על פתם-ליזר מחייבים למקם את המערכת האופטית בחרטום הטיל, ורק לאחריה ימוקם ראש-הנפץ. העברת מידע ממערכת ההנחיה אל המרעום — לראש-נפץ מתכווננים, כפי שנראה בהמשך, זהו צורך חיוני לקבל מידע על נתוני הטווח אל המטרה, קצב ההתקרבות אליה, זווית ההתקרבות וכדומה.

טוחני-חליפה צפויים — טווח החליפה, הוא מרחק ההסתאה מן המטרה שבו הטיל יעיל עדיין. המרחק הזה נקבע על פי סוג ראש-הנפץ וגודלו.

תחום מהירויות החליפה — מהירות החליפה, היא המהירות היחסית שבה מתקרב הטיל אל המטרה. בטילי אויר-אויר, המופעלים כנגד מטרת הנעות במהירות גבוהה, יש חשיבות למידע הזה בניתוח יעילות הטיל.

תחום זווית התקיפה — בחירת ראש-נפץ בעל מטען חלול מסוים, לדוגמה, מכתיבה את תחום זווית התקיפה. סטייה מתחום זה משמעה יהיה אי-דחיסת המטרה.

מיקום המרעום, משקלו ומידותיו — בטילים שונים עשויות לחול מגבלות על ממדי המרעום; ולהיפך, הצורך במרעום בעל תכונות מסוימות עשוי להשפיע על גודל הנתח מנפח הטיל שיוקצה עבורו.

האמינות הכללית של הטיל — ככל שנדרשת מן הטיל אמינות גבוהה יותר, כן יש להקפיד יותר שלא ייעשו פשרות בתכנון ראש-הנפץ. בכל מקרה, אמינות ראש-הנפץ (כולל המרעום) צריכה להיות גבוהה מאמינותו הכללית של הטיל. מידת הנזק הנדרש.

תנאי הסביבה שבהם מתוכנן הטיל לפעול — טמפרטורה, לחות, שיטות הובלה וכיו"ב.

פיצוץ ראש-הנפץ

מנגנון הנזק של הטיל (או מנגנון ה"הרג", כפי שמקובל לתרגם מאנגלית Lethality) ויהיה העדכני והמורכב ביותר, לא השתנה ביסודו מאז המצאת הנשק — זהו מנגנון המבוסס על גלי-הלם או על רסיס קטלני הנוצרים מפיצוץ חנ"מ. בהתאם לכך, מקובל לסווג ראש-נפץ — לראש-הדף ולראש-ריסוק.

למעטפת ראש-הנפץ יש חשיבות גדולה, הן כמקור הרסיסים והן בהיותה מעין בית-בליעה להאצת הרסיסים. הלחץ הנוצר בעת פיצוץ החנ"מ גורם להתפשטות המעטפת עד לריסוקה לרסיסים (ראה ציור 1). לחץ זה משתנה בהתאם לחומר-הנפץ השונים. לדוגמה, בפיצוץ חנ"מ מסוג Comp. B (תערובת של ט.נ.ט. ו-R.D.X. ביחס 40/60) נוצר לחץ של 2.7 קילובר, וגל הלחץ מתפשט במהירות של 7840 מטר לשנייה. לחץ זה גבוה פי-13 מחוזק-הכניעה של של פלדה מעולה!

במטעני ריסוק, שבהם תוצר-הפיצוץ הינו רסיס, נקבעת מידת הקטלניות על-ידי משקל הרסיס ומהירותו. מהירות הרסיס נקבעת במידה רבה על-ידי סוג החנ"מ המשמש כמטען עיקרי. כעיקרון, חומר-נפץ בעלי קצב דטונציה* גבוה מקנים לרסיס הנוצר מהירות גבוהה יותר.

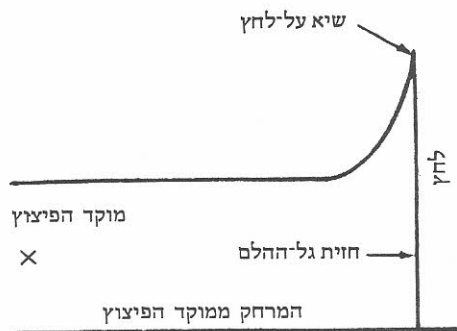
* קצב דטונציה — קצב התקדמות חזית הניפוצ בחומר-הנפץ

יורדת לחץ גל-ההלם נמשכת, כאמור, גם מעבר ללחץ האטמוספירי ונוצרת תופעה של תת-לחץ בעוצמה נמוכה יחסית (4). משך הפעולה של תת-הלחץ ארוך אומנם, אך השפעתו אינה רבה.

תופעות הפיצוץ שתוארו לעיל אופייניות לפיצוץ באוויר. פעולת גל-ההלם על פני הקרקע, לעומת זאת, מורכבת קצת יותר. כאן מתרחשת למעשה התאבכות, הנובעת ממפגש גלי-הלחץ, המגיעים ממוקד הפיצוץ, עם אלה המוחזרים מפני השטח. ההתאבכות הזו מתנתנת את נפילת הלחץ הבאה בעקבות מעבר חזית גל-ההלם ומגבירה בכך את משכו ואת עוצמתו של הגל.

סוגי תנ"מ שונים גורמים בהתפוצצם ללחצים בעוצמות שונות. עוצמת הלחץ תלויה בטמפרטורה המתפתחת מפיצוץ החנ"מ, והיא גדלה ככל שהטמפרטורה במוקד הפיצוץ גדולה יותר. החום הנוצר במוקד פיצוץ החנ"מ מגיע ל- 5000°C (במוקד הפיצוץ הגרעיני, לשם השוואה, מגיעה הטמפרטורה ל- 50°C מיליון מעלות צלסיוס).

חומרי-נפץ יעילים במיוחד ליצירת הלם (כגון טרופקס, מיינול) כוללים בהרכבם אבקת אלומיניום, התורמת להגדלת טמפרטורת הגזים. שימוש בחנ"מ מסוג זה מגדיל את עוצמת הלחץ עד כדי 10% בהשוואה לחנ"מ אחר.



ציור 2 — עוצמת גל-ההלם באזור הקרוב למוקד הפיצוץ, כתלות במרחק מהמוקד.

יוצר יחד עם זרימת האויר הנעה בעקבותיו את תופעת ההדף. תופעת ההדף באיזור הקרוב למוקד הפיצוץ (עד למרחק של 16 קוטרי-מטען בקירוב) מורכבת, מצד אחד מההדף עצמו ומצד שני מתרומת תוצרי הפיצוץ (גזים וחלקיקים). באזור הזה, המכונה גם אזור "כדור-האש" (Fire Ball) עוצמת הלחץ קבועה (ראה ציור 2). מעבר למרחק האמור, מפסיקים תוצרי הפיצוץ להתפשטותם ואינם תורמים עוד למנגנון ההרס.

באיזור הרחוק ממוקד הפיצוץ (מעבר ל-16 קוטרי-מטען), ההדף הוא גל-הלם הנע במהירות על-קולית. גל-ההלם באזור הזה מופיע בפתאומיות, ודועך בהדרגה עד למצב של תת-לחץ. הרוח החזקה שנוצרה בזמן העל-לחץ ואשר כיוונה היה אז ממקום הפיצוץ — החוצה, משנה בזמן תת-הלחץ את כיוונה ונושבת לעבר המוקד.

העל-לחץ הנוצר באזור החשוף לפיצוץ תלוי במהירות מעבר גל-ההלם. הקשר מבוטא בנוסחה:

$$P = \frac{7(M^2-1)}{6} P_0$$

כאשר:

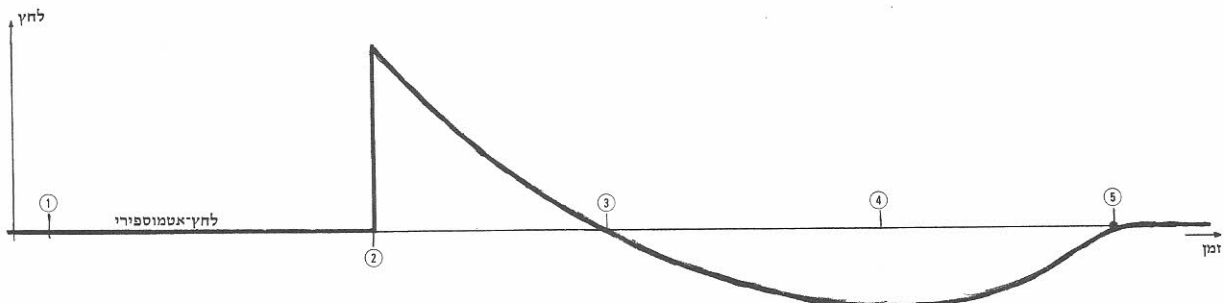
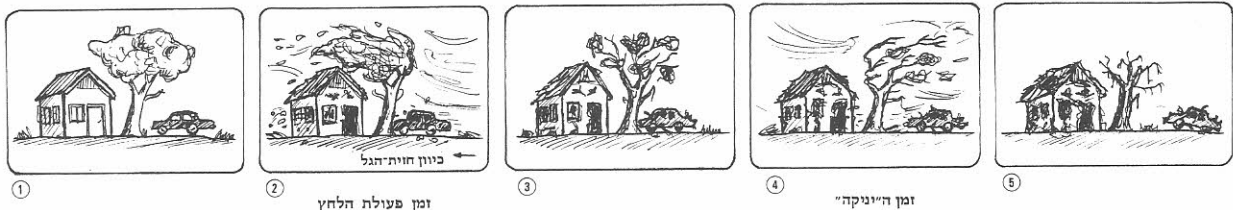
P — על-לחץ

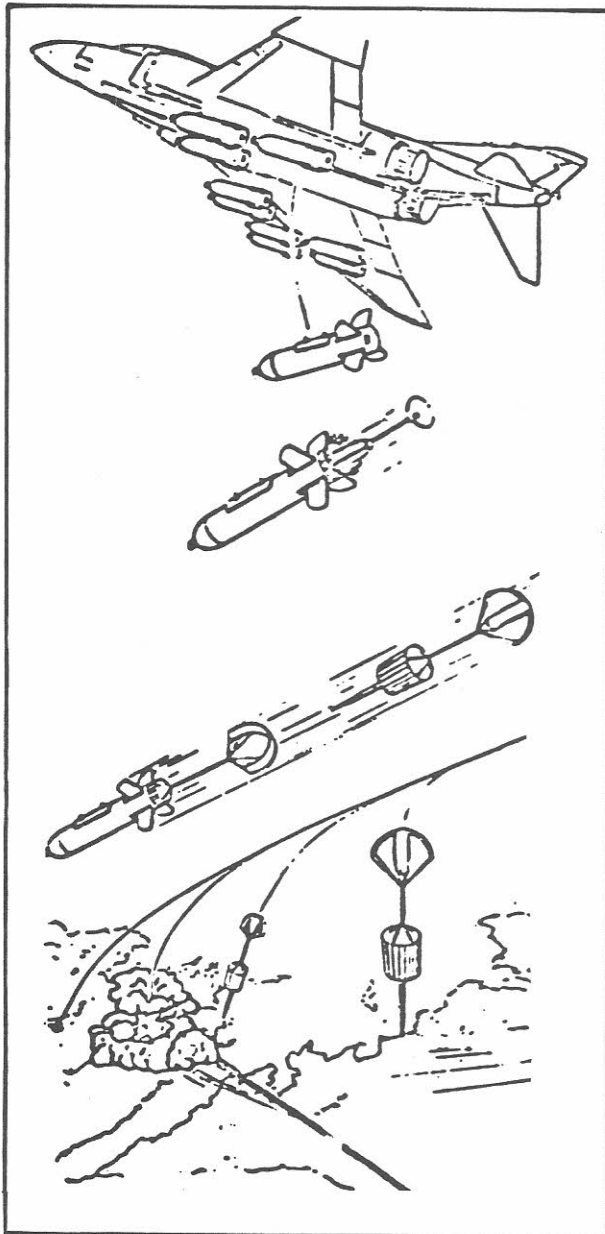
P_0 — לחץ אטמוספירי

M — מספר מאך, המבטא את מהירות מעבר גל-ההלם ביחס למהירות הקול.

בציור 3 מתוארת השתנות הלחץ עם הזמן במקום נתון וההשפעה שיש לכך על הנוף. זמן קצר לאחר הפיצוץ עדיין אין עליה בלחץ (1), משום שחזית גל-ההלם טרם הגיעה לאזור המושפע. בהגיע חזית גל-ההלם, עולה הלחץ בפתאומיות לשיא (2). רוח חזקה מתחילה לנשוב בכיוון התפשטות הלחץ, אולם מהירותה יורדת בצורה חדה ומתייצבת. בעקבות מעבר חזית הגל, יורד לחץ גל-ההלם במהירות עד לרמה של לחץ אטמוספירי (3). משך הזמן מהגעת חזית הגל ועד להתאפסותו תלוי בכמות החנ"מ. בפיצוץ בן 20 קילוטון, לדוגמה, משך הזמן הוא 0.5 עד 1 שניה, ובפיצוץ בן 1 מגהטון — 2 עד 4 שניות. במשך הזמן הזה נגרם הנזק העיקרי למטרה.

ציור 3 — השתנות גל-ההלם עם הזמן במקום נתון והשפעתה על הנוף.

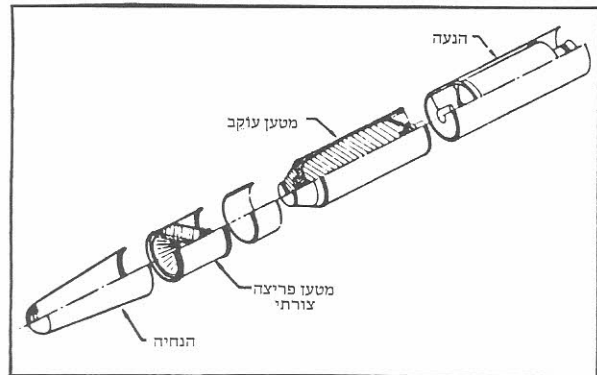




ציור 5 — מהלך הפעולה של פיצצת דלק אוויר מדור ראשון: מלמעלה למטה — שיחרור הפצצה; פעולת מרעום ופתיחת המיצר, פיצצות דלק-אוויר נשלפות מהמיצר; ולמטה — הפצצות פוגעות בקרקע ומופעלות. ניתן לראות בבירור את מיצנח הייצוב, את גוף הפצצה ואת החוט הקובע את הגובה מפני הקרקע שבו תופעל הפצצה.

שלא כפיצצות חנ"מ שבו גלי-הלחץ מוחזרים בעקבות פגיעה באובייקטים שבשטח, ולכן אינם יעילים כנגד מטרות מוסתרות, הרי בפיצצת דלק-אוויר, התרסיס מתפשט באיטיות יחסית ומסוגל לחדור לפינות חבויות, כגון תעלות ובונקרים, וברגע שנוצר הפיצוץ ניכרת השפעתו גם במקומות הנידחים ביותר.

למהירות הגעת המטען לקרקע ולזווית ההגעה יש חשיבות רבה בתכנון מנגנון הפיצוץ לפיצצת דלק-אוויר. במהירות הגעה גבוהה, התרסיס אינו מתפשט בצורת ה"צמיג" האופיינית, אלא שבהשפעת רכיב-המהירות הניצב הוא מתפזר על הקרקע.



ציור 4 — תצורת ראש-הדף נפיץ מסוג H.S.M.

ראשי-הדף

עקרונית, קיימים שני סוגי ראשי-הדף — ראש-הדף נפיץ וראש דלק-אוויר, ושניהם יכולים להיות, או מן הסוג החיצוני — הפועל על המטרה, או מן הסוג הפנימי — הפועל מתוך המטרה.

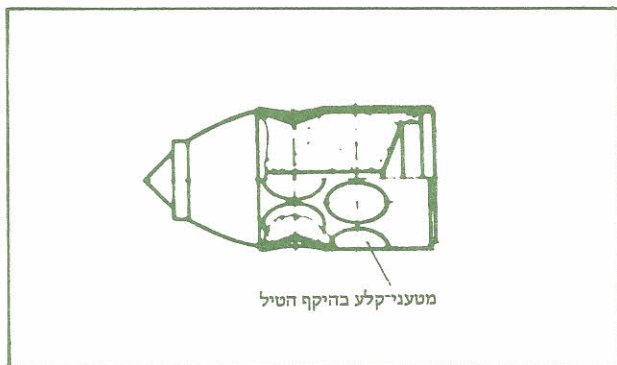
ראש-הדף נפיץ, אינו אלא מיכל ממולא חנ"מ המופעל על-ידי מרעום. בגירסה שלו כראש-הדף פנימי, הוא מתוכנן לחדור את המטרה ולהתפוצץ בתוכה. ראש-הדף פנימי מותקן, לדוגמה, בטילי ים-ים, כגון "הרפון" ו-"אקסוסט", המיועדים לחדור את דופן הספינה ולהתפוצץ בתוכה. דוגמה אחרת, מורכבת יותר, של ראש-נפץ פנימי הוא ראש-הנפץ, המכונה HSM (Hard Structure Munition), שיעודו להרוס מטרות בטון מבוצרות, כגון עמדות תמיכה לגשרים. הראש מורכב ממטען צורתי, הנמצא בחלקו הקדמי וממטען עוקב (ראה ציור 4). בעת הפיצוץ יוצר המטען הצורתי פירצה במטרה, והמטען העוקב חודר לתוכה ומתפוצץ בה לאחר השהיה.

דוגמאות למטען-הדף חיצוני הם הראשים לטילי קרקע-אוויר, המיועדים לפעול כנגד מטרות רכות יחסית (מטוסים). בטילים אלה, ובמיוחד לגדולים שבהם, יש מנגנון נוק המבוסס על שילוב של רסיסים והדף.

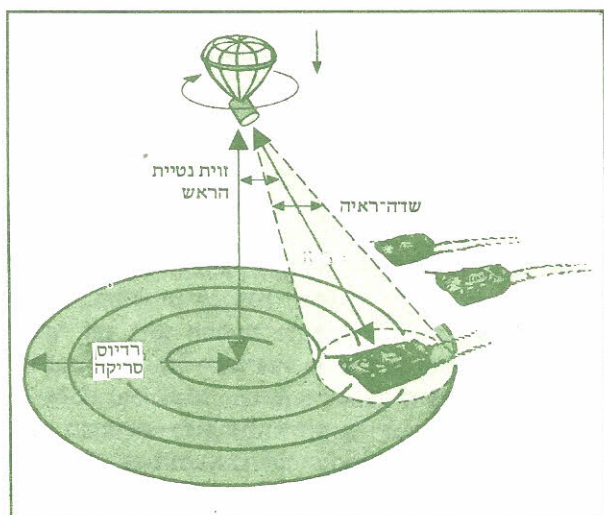
ראש "דלק-אוויר", התפרסם בעיתונות הבלתי-מקצועית בשם "פיצצת-הלם" או "פיצצת חנק". לראשי דלק-אוויר מבנה ואופן-פעולה מורכבים בהשוואה לראש-הדף נפיץ. עיקרון הפעולה כאן מבוסס על התכונה הפיסיקאלית של דלקים מסוימים, שתכונתם להתפוצץ (להבדיל מלהחלק) כאשר הם מצויים בריכוזים מוגדרים עם חמצן ומיונמים על-ידי נפץ. בעת הפיצוץ, הדלק סופח אליו את החמצן שבאוויר, ומכאן הכינויים שהודבקו לפצצות האלה.

גלי-הלם המתפתח מפיצוץ כמות נתונה של דלק, עוצמתו קטנה מעוצמת הגל המתפתח מפיצוץ כמות מקבילה של חנ"מ, אולם מאחר שקצב הדעיכה שלו מתון יותר, מתקבל בסיכום אימפולס לחץ גדול יותר מזה שבפיצוץ חנ"מ.

פיצצות דלק-אוויר מדור-ראשון, כדוגמת CBU-55 ו-CBU-72 (ראה ציור 5), בנויות ממעטפת מיצר המכילה שלושה מיכלי-דלק גליליים. כל אחד מהמיכלים מצויד בצינור חנ"מ, שבגובה קבוע מפני הקרקע הוא מתפוצץ וגורם להתפזרות הדלק בתרסיס שצורתו האופיינית כצורת טורואיד ("צמיג"). לפני הפיזור משוגרים אל הקרקע המנגנונים האמורים לפוצץ את הדלק. הפיצוץ מתחולל כאשר נוצר יחס מסוים של דלק ואוויר.



ציור 6 — מבנה ראש-נפץ של טיל קורמוון.



ציור 7 — תיאור פעולת ראש "SADARM".

של טיל המיועד לחלוף לצד המטרה או מעליה, ואשר ייצבו האוירודינמי מושג על-ידי גילגולו סביב צירו. כאן ניתן למקם את מטעני הנפץ סביב מעטפת הטיל ובמקביל להם — את מוקדי הייזום. על פי המידע המועבר ממערכת הסריקה יופעל המוקד המתאים וייצור רסיס בכיוון הרצוי.

בבניית ראש-נפץ מתכווננים משתמשים גם בטכנולוגיה של ראש-נפץ צורתיים. דוגמה לשילוב שתי הטכנולוגיות האלה, הוא ראש SADARM (Sense And Destroy Armament), המבוסס על מטען-קלע (ציור 7). ראש-הנפץ הזה מתוכנן, בין השאר, להיות מזוּנָד בתוך פגז-מיצור ארטילרי בקוטר "18. לאחר פתיחת המיצור באוויר נשלפים ממנו ארבעה ראשי-נפץ המתחילים ליפול באיטיות בעזרת מצנח, תוך כדי הסתובבות סביב צירם. כל ראש-נפץ סורק את הקרקע בעזרת שיטת חישה מתאימה, וכאשר הוא מזהה מטרת שריון בטווח מתאים הוא מפעיל את מטען-הקלע המיועד לחדור את סיפון הטנק.

ראש-נפץ צורתי

במשפחת ראש-הנפץ הצורתיים נכללים בעיקר שנים — "המטען החלול", הנפוץ מאוד בטיילי-נ"ט ו"מטען-קלע" (Self Forging Projectile) המטען החלול נמצא בשימוש מאז מלחמת-העולם השנייה,

וזית הגעת המטען משפיעה על הזווית שבה משוגרים מנגנוני ההפעלה של ענן הדלק, וזוית השיגור קובעת את המרחק שאליו יוטלו המנגנונים. בשל כך, נדרש לייצב את המטען בעזרת מצנח ותלות זו הופכת את המטען לבלתי-מדויק ומפקירה אותו להשפעת הרוח.

שיטות הפעלה משופרות שפותחו בצבא-ארה"ב הביאו לבנייתן של פיצצות דלק-אוויר מדור-שני. הפצצות האלה מכילות כמויות דלק גדולות יותר, הן בעלות מהירות-הגעה גבוהה והן אינן תלויות בזווית ההגעה — עובדה המאפשרת להשתמש בטכנולוגיה של פיצוץ דלק-אוויר בראשי-נפץ לטילים.

לפני כמה שנים פורסם בביטאון I.D.R מאמר מאת ראש מכון-הנפט השוודי שבו הועלתה ההשערה, שבידי הרוסים נמצאות פיצצות דלק-אוויר מדור-שלישי. במאמר זה תואר השימוש בטכנולוגית דלק-אוויר בטיילים בליסטיים מסוג SSN-12 שנורו מצוללות. על פי ההערכה, יש לפצצות האלה אפקט-הדף שעוצמתו דומה לזה של פצצה אטומית קטנה (והן אינן מפיצצות זיהום רדיואקטיבי).

ראשי-ריסוק

ראש-ריסוק מהסוג הפשוט ביותר הוא ראש-נפץ "לא מתכוונן", שאלומת הרסיסים שלו מפוזרת ואינה מתוכננת להתמקד על המטרה. אולם, גם ראש "פשוט" כזה מחייב תכנון מדויק ומפורט. יש צורך לקבוע את משקל הרסיס היעיל ביותר כדי להבטיח שפיזור הרסיסים במרחב יהיה אופטימלי. לצורך זה יש לתכנן את צורת מעטפת הראש, מבנה המעטפת — פח מעורגל, חד או דר-שכבתי, סוג החנ"מ וכיו"ב.

החיסרון העיקרי של ראש-נפץ לא-מתכוונן הוא במשקלו הגדול. אם מוכתב על-ידי מתכנן ההנחיה שהטיל יהיה יעיל גם במרחק החטאה גדולים, מתבקש בהתאם משקל כה גדול לראש-הנפץ, עד שאינו מעשי כלל.

ראש-הנפץ-המתכוונן (Aimable Warhead), לעומת זאת, הוא מהמורכבים ביותר, ועם זאת גם המבטיח ביותר. יכולת ההרג ליחידת משקל של הראש המתכוונן גדולה מבכל סוג אחר של ראש-נפץ, זאת מאחר שכל כוח ההרג שבו מרוכז באלומה צרה, ויחד עם זאת נשאר משקלו קטן. הראש המתכוונן גם אינו מגביל את הטיל מבחינת זווית התקיפה.

לפעולה יעילה, זקוק ראש-הנפץ המתכוונן למידע על מיקום המטרה במרחב וליכולת להתכוונן לזווית היירוט החזויה. לפיכך הוא מצויד בסורק לאיתור המטרה, במחשב לניתוח ולקבלת החלטות, בתימסורת להעברת פקודות ובמערכת מכנית מתוחכמת המבצעת את הפקודות של מערכת האיתור.

יעילות גבוהה של הראש המתכוונן מושגת כאשר ממקמים אותו בחרטום הטיל באמצעות צירים. בתצורה זו, יכול ראש-נפץ קטן ל"כסות" מיתאר יירוט גדול.

ראש-הנפץ-המתכוונן עשוי להידחק ממקומו בחרטום הטיל, אל מאחורי מערכות הפית והסריקה, וזאת משיקולי יעילות כלליים של הטיל. במקרה זה ניתן למקם את ראש-הנפץ בהיקף הטיל. דוגמה נפוצה לכך הוא ראש רב-מטענים, שכמוהו ניתן למצוא בטיל קרקע-אוויר "רולאן" ובטיל אוויר-ים "קורמוון" (ראה ציור 6). ניתן לשכלל ראש כזה על-ידי תכנון מוקד-פיצוץ שייצור עדיפות בכיוון יצירת המטען — שלא כמו בטיילים כולאן וקורמוון, שבהם כיוון יצירת הרסיסים רדיאלי. תכנון כזה יכול להיות בסיס לפיתרון הבעיה

במטענים חלולים מודרניים, דוגמת אלה המצויים בטילי נ"ט "TOW" ו"DRAGON" (ראה ציור 9), יש לדפנות עובי אחד וצורתה חרוט בעל מקצוע ישר שזוית הפתיחה שלו נעה בתחום $42^\circ - 60^\circ$. תכנון זה מקנה למטענים האלה חדירה טובה למדי ב-S.O הטבעי, לרבות חדירה טובה יותר במטרות בעלות שריון מרוחק (הבנוי מלוחות שריון וביניהם חללים). מטען חלול מבצעי מסוגל כיום לחדור מטרות לעומק הגדול פי 5—6 מקוטרו (לדוגמה, מטען מבצעי בקוטר 100 מ"מ מסוגל לחדור שריון בעובי 500—600 מ"מ).

בטילי-נ"ט אחרים, כגון "HOT" ו"MILAN" וכן בטיל הרוסי "סאג'ר" משתמשים בקצב גל-נפץ (חומר אינרטי), המשפיע על התקדמות גל-הניפץ לפני שזה פוגע בדופנית. כתוצאה מכך מתארך הסילון ומגיע לאורכו היעיל במהירות גדולה בתוך מרחק ה-S.O הטבעי שלו.

בתכנון אחר, שופרה יכולת החדירה של הפגז הצרפתי בן 105 מ"מ על-ידי עיצוב הדופנית בצורת חצוצרה.

כיום, עם הופעת השריון המורכב, דוגמת השריון הבריטי "צ'יבהם", מנבאים רבים את קיצו של המטען החלול (הכוונה היא, על כל פנים, למטענים עד לקוטר 100 מ"מ שבשל גודלם

ונכתב עליו רבות (ראה גם מערכות חימוש מס' 33). מטען הקלע, לעומת זאת, החל את שימושו הצבאי רק בעשור האחרון. בשני המטענים האלה מדובר על מטען חנ"מ, בעל חלל חרוטי המצופה בדופנית מתכתית (ליג'ר).

תופעת המטען החלול היתה בשימוש בחציבה כבר במאה ה-18. כבר אז הבחינו בהשפעה הכיוונית שיש למטען חנ"מ חלול. מונרו (שעל שמו נקרא לעתים האפקט) פירסם בשנת 1888 עבודת מחקר שכללה עדויות מצולמות מפעולת מטען חלול על מטרה מתכתית. בעבודה הזו הצביע מונרו על הקשר הקיים בין עומק ההטבעה במטרה מחד-גיסא ובין עומק חלל המטען וקוטרו — מאיך.

על אף שהיו נסיונות לעשות שימוש צבאי בתופעת המטען החלול, הרי שבמשך זמן רב עלו אלה בתוהו. מטען חנ"מ לא עמד בתאוצות היר, ובנוסף לכך היתה בעיה בייזום מדויק של המטען.

בשנת 1936 הושגה התקדמות חשובה בהתפתחות המטען החלול. היה זה החוקר האנגלי Wood, שבמהלך בדיקת תאונה קטלנית, העלה השערה שחומר הדופנית עבר תהליך של זרימה פלסטית ובתוך כך נוצר קלע שחדר את המטרה (אגב, המטען שתואר בנסיונותיו מזכיר בצורה כללית את מטען הקלע המודרני).

רק עם התפתחות שיטות הצילום באמצעות קרני רנטגן התאפשר הניתוח ההידרדינמי של תהליכי יצירת סילון-החלקיקים וחדירת המטרה. בעקבות הניתוח הזה תוכננו מטענים בעלי סילון ארוך יותר וחדירה משופרת. עומק חדירת הסילון של המטען החלול מוגדר בנוסחה:

$$P = L \sqrt{\frac{P_j}{P_t}}$$

כאשר:

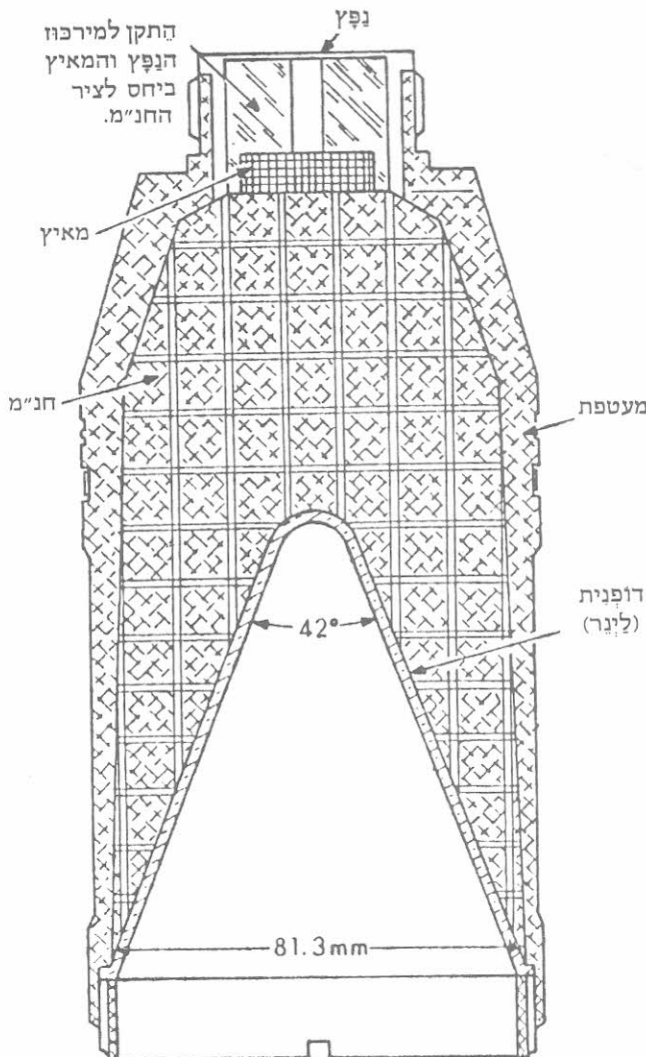
P — עומק החדירה
L — אורך הסילון
 P_j — צפיפות הסילון
 P_t — צפיפות המטרה

הנוסחה הזו מבוססת על שתי הנחות:

— שחוק המטרה קטן בהכרח מהלחץ הדינמי הנוצר על-ידי הסילון.

— שחומר המטרה אינו מתאדה, או אינו ניתק תחת לחץ הסילון — אלא זורם מחוץ לקדח, או תורם לעיוות המטרה תוך כדי זרימתו הרדיאלית אל מחוץ לנתיב הסילון. בעת הפעלת מטען חלול בעל דופנית שעוביה אחד נוצר סילון-חלקיקים בעל מפל-מהירות (מהירות ראש הסילון גבוהה בהרבה ממהירות זנב הסילון). מפל-המהירות, הבא בעקבות התקדמות חזית הפיצוץ. נובע מהשתנות יחס משקל חנ"מ למשקל הדופנית.

יכולת החדירה של המטען החלול תלויה במרחק ה-*Stand-Off*, שהוא מרחק המטען מהמטרה בעת ההפעלה. עם עליית המרחק הזה גורם מפל המהירות למתיחת הסילון ולהגברת החדירה, אולם במרחק גדול מדי יורדת מהירות ראש-הסילון עד למהירות הקריטית, שבה הלחץ המופעל על-ידי הסילון אינו חזק דיו להכניע את המטרה. מרחק ה-S.O. בטילי נ"ט נקבע בהתאם לאילוצים אוירודינמיים וגודלו נע בתחום 2—4 קוטרי-מטען.



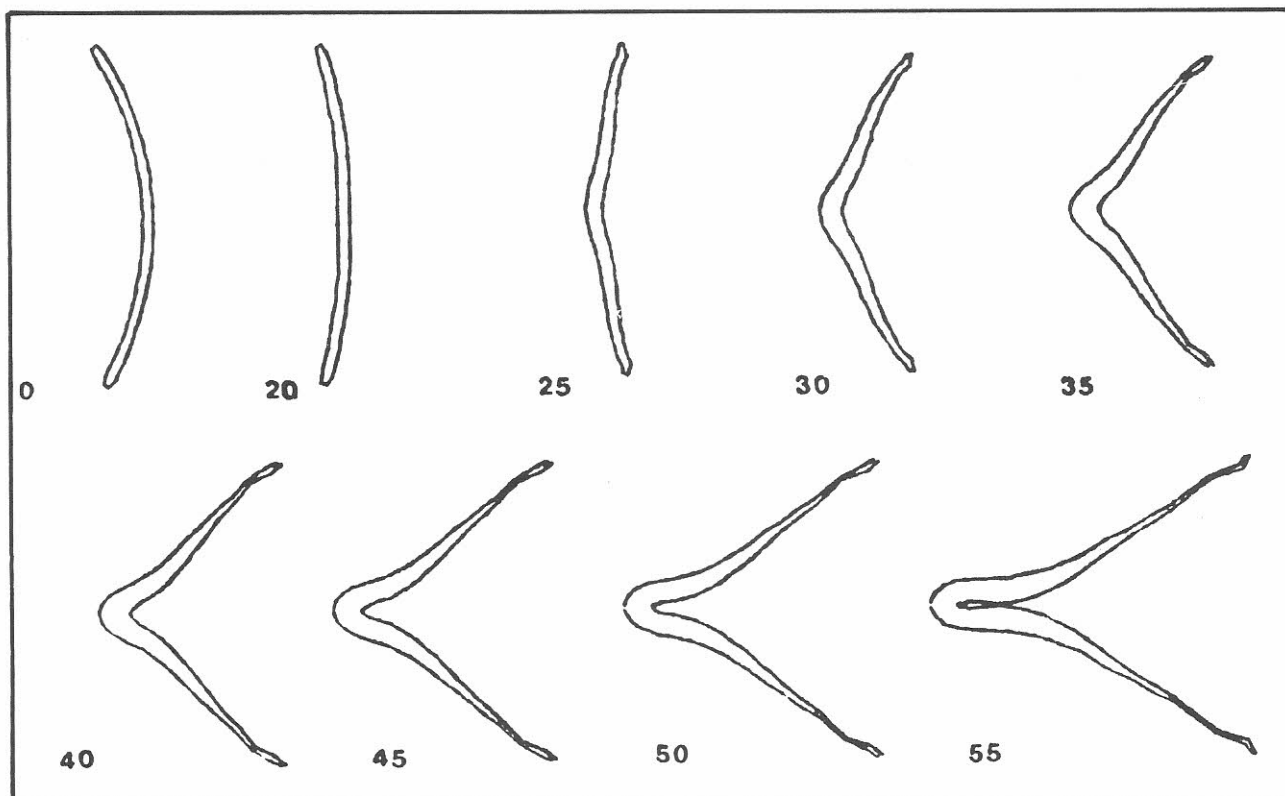
ציור 8 — מבנה ראש מטען-חלול מדויק.

למחצה. כמות הרסיסים הגדולה שניתן להכיל בראש מחפה על הסיבוך הכרוך בייצור ראש-הנפץ ובאריזות החיצונים בתוכו.

ראש ריסוק אחר, המשמש בעיקר בטילי אויר-אור (כמו בדגם מסוים של ה-סידוימר) וכן בטילי קרקע-אור, הוא ראש מסוג "מוט-רציף". זוהי מעטפת גלילית, המכילה חנ"מ, ובנויה ממוטות שרוטכו זה לזה בקצותיהם. בעת הפיצוץ מתחולל תהליך של התפשטות המעטפת, שבו המוטות נהדפים כלפי-חוץ עד להפרדותם. זהו תהליך אֶנְרֶגְטִי, שבו מוקנה למוטות כושר חיתוך קטלני.

לסיכום, מתכנני הנשק והעוסקים בפיתוח אמצעי-לחימה, ראוי שיזכרו, כי כל יעודם של המטוס המשוכלל ביותר או של טנק הלחימה בעל מערכת בקרת-אש המתוחכמת ביותר אינו אלא לסייע לראש-הנפץ שהם נושאים להגיע אל המטרה. הצלחת המשימה, בסופו של דבר, תיקבע על פי מידת יעילותו של ראש-הנפץ, שהוא האמור לבצע את מלאכת ההרס.

ציור 9 — מטען קלע — רצף התגבשות הדופנית לקלע. המספרים המסומנים מציינים זמן במיקרושניות מרגע הפיצוץ.



ניתן להרכיבם בטילים קטנים יחסית). למרות זאת, קשה להניח כי הטכנולוגיה הזו תאבד מהעולם ותעשה את דרכה אל מדפי המוזיאון.

מטען הקלע שונה מהמטען החלול בעיקר בזווית המיפתח הגדולה יותר של הדופנית — 120° — 140° . זווית המיפתח הרחבה גורמת לכך, שבעת הפעלת מטען הקלע מתרחש תהליך של עיצוב הדופנית לרסיס מגובש יחיד המואץ אל המטרה (ראה ציור 9) — להבדיל מסילון-החלקיקים הנוצר בעת הפעלת המטען החלול. רסיס כזה מסוגל לחדור מטרה במרחקי S.O. גדולים — עד 1000 קוטרי-מטען. לדוגמה, בעת הפעלת ראש SADARM שקוטרו 152 מ"מ, נוצר קלע, שלאחר עוברו מרחק של 122 מטר הוא מסוגל לחדור לוח שיריון שעוביו 72 מ"מ.

מטען הקלע מאפשר, כאמור, לתקוף מטרות שיריון ממרחק גדול, אולם כושר החדירה שלו קטן בהשוואה למטען החלול. מסיבה זו משתמשים בטכנולוגיה הזו לתקיפת נקודות התורפה של הטנק — גחון, ירפתיים, סיפון — ולא לתקיפת שיריון החזית.

בהתאם לשימושים השונים ניתן לעצב צורות מתאימות של הקלע, וזאת, בין השאר, על-ידי תכנון דופנית בעלת עובי אחיד או משתנה, וכן על-ידי שינוי שיטת היזום של החנ"מ (יזום מרכזי או יזום הקפי).

ראשי-ריסוק אחרים

לרסיסים המיוצבים אוירודינמית יש מקדם-גֶרָר נמוך ולכן הם יעילים לטווח גדול. דוגמה לרסיסים כאלה הוא ראש "פֶּלְשֵׁט" (מצרפתית — חץ קטן), המכיל רסיסים בעלי צורת חץ. ראש פֶּלְשֵׁט מופעל הן כנגד חי"ר והן לחדירות מטרות קשות-

א.י.טי.אם. איכות ללא פשרות

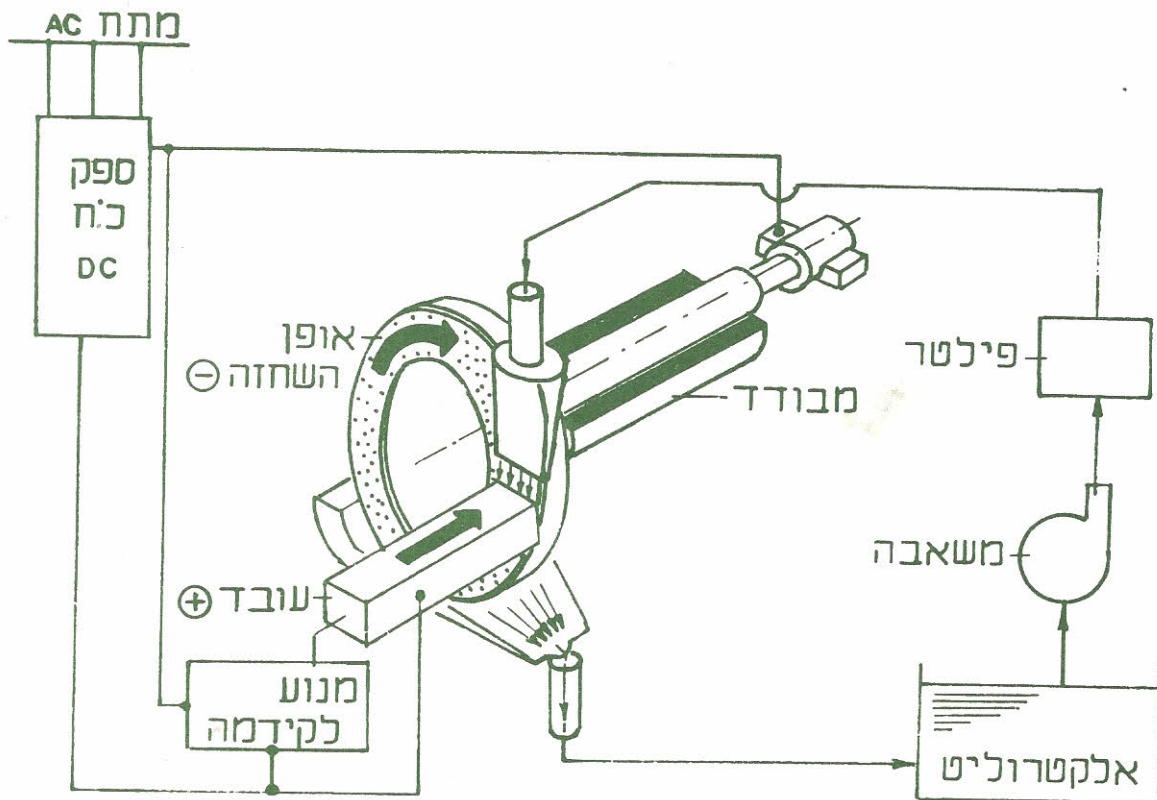
ETM



א.י.טי.אם.

052-50780-11

תהליך ההשחזה האלקטרוכימית



מאתד"ר מנחם גבע

תהליך ההשחזה האלקטרוכימית (Electro Chemical Grinding) הינו אחד מתהליכי העיבוד החדשים, שפותחו בתקופה האחרונה במגמה לאפשר עיבוד יעיל של של נתכים בעלי תכונות חזק מעולות. התהליך החל להיכנס לשימוש תעשייתי בתחילת שנות הששים, והוא מנוצל בראש ובראשונה להשחזת כלי מתק"ש חומרים בעלי חזק מכני וקשיות גבוהים. כמו כן משמש התהליך לעיבוד מוצרים עדינים שאינם מסוגלים לשאת כוחות עיבוד ואף קשה להרחיק מהם את הצילוע (גרדים).

תיאור התהליך והציוד

תהליך ההשחזה האלקטרוכימית מבוסס, בעיקרו, על התמוססות אלקטרוליטית של חומר-העובד. העובד מחובר לקוטב החיובי, והאופן – לקוטב השלילי של ספק-כוח לזרם-ישר. באיזור העבודה, בין האופן והעובד, מוזרם אלקרוליט בעל תכונות דיסוציאציה מעולות וספיקה גדולה.

בנוסף לתהליך האלקטרוכימי, מתקיים בריזמנית (אך במידה מועטה) גם תהליך של השחזה אברסיבית רגילה. פעולה זאת גורמת לריטוש ולהרחקה של השכבה האנודית, שנבנתה על פני העובד בעקבות הפעולה האלקטרוכימית, ולגילוי חומר חדש, הפעיל מבחינה אלקטרוכימית. חלק זה של התהליך משפר גם את טיב השטח ואת דיוק העיבוד. היחס הכמותי בין שני חלקי התהליך (האלקטרוכימי והאברסיבי) מושפע מתנאי העיבוד ומסוג חומר-העובד, האופן והאלקטרוליט. נראה, שעלידי בחירה נאותה של הפרמטרים השונים, ניתן להגיע להסרה אלקטרוכימית בשיעור העולה על 90% מסה"כ העיבוד.

מבחינת אופי התהליך, ניתן לחלק את איזור העבודה לשלושה איזורים חלקיים כדלקמן:—

איזור המגע בין בין האופן והעובד (הקטע AB בציור 1):

באיזור זה אנו מניחים לתהליך להתקיים בשלימותו, דהיינו תרומה אלקטרוכימית ואברסיבית סימולטנית. תנאי העיבוד באיזור זה נקבעים על ידי המשתנים העיקריים, כגון — מתח, קידמת-העיבוד ועומק ההשחזה, וכאן מתרכז רוב רובו של העיבוד. בקטע זה של פני העובד נמצא בעיקר סימנים אופייניים של תהליך עיבוד-שבבי מקובל כגון: ברק מתכתי, כיווניות העיבוד, חריצים של גרעיני אברסיב, דפורמציות פלסטיות עם מאמצים

(1) היפרדות המולקולות ליונים חיוביים ושליליים

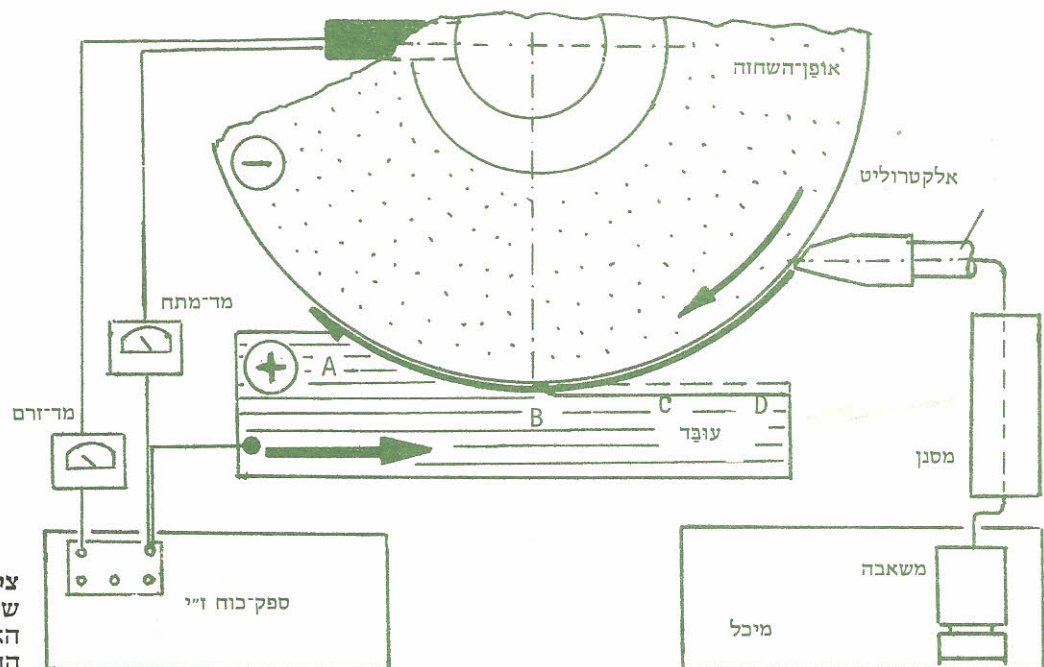
שאריתיים ואיזורים המושפעים תרמית. יחד עם אלה, יופיעו גם הסימנים הראשונים של המאפיינים האלקטרוכימיים.

האיזור שמאחורי האופן (הקטע BC בציור 1):

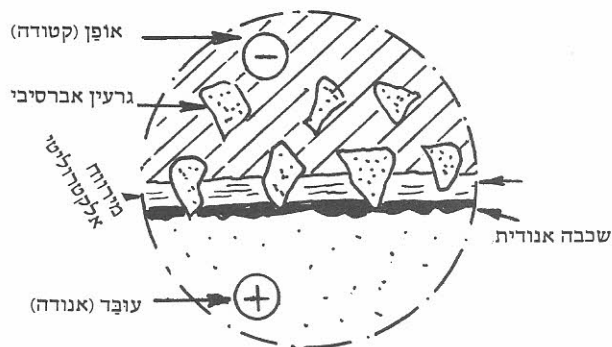
באיזור זה חדל המגע הפיזי בין האופן והעובד, ויחד עמו נעלם המרכיב האברסיבי של התהליך. התנאים האלקטרוכימיים באיזור זה מביאים לידי היווצרות חיתוך-יתר, והם משפיעים על גודלו ואופיו. הפרמטרים הקובעים את התנאים האלקטרוכימיים הם, המתח וקידמת העיבוד (המגדירה את גורם הזמן בחוק ההמסה האלקטרוכימית של פרדיי), וזאת בנוסף לתכונות המערכת האלקטרוליט-עובד אשר קובעות את ההולכה החשמלית במירווח האלקטרוליטי, ולגאומטריה של המערכת אופן-עובד הקובעת את הגודל של מירווח זה. באיזור זה נעלמים הסימנים האופייניים לתהליך ההשחזה הרגיל, ואת מקומם תופסות תופעות פני-שטח האופייניות לעיבוד אלקטרוכימי, כגון — פני עובד אמורפיים ללא כיווניות מוגדרת ועם טופוגרפיה הנשלטת על-ידי מוקדי אקטיבציה אחיד של הפזות השונות, על-ידי מוקדי אקטיבציה מקומיים ועל ידי שכבות אנודיות שונות.

איזור של השפעות כימיות (הקטע CD בציור 1):

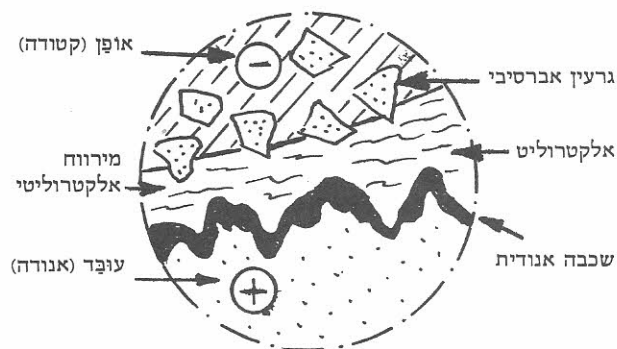
באיזור זה עשויות להתפתח ראקציות כימיות בין מרכיבי השונים של העובד ובין הסביבה, אולם הראקציות האלה נמנעות לעיתים קרובות עקב הזרימה האינטנסיבית של האלקטרוליט, או שתוצריהן (אם הן מתקיימות) מתמוססים לתוך האלקטרוליט וקשה לעמוד על קיומן. הציור הדרוש להשחזה האלקטרוכימית דומה ביסודו לציור ההשחזה הרגיל, פרט לשינויים אחדים. הפוש עם האופן מבודדים היטב מגוף המכונה (באמצעות מיסוב העשוי מחומר מבודד); האופן עשוי מחומר מלכד מוליך (כגון גרפיט או סגסוגת של ברונזה) ואילו החומר



ציור 10 — תיאור סכמטי של תהליך ההשחזה האלקטרוכימית ההיקפית.



ציור 2 — תיאור סכמטי של מנגנון פעולת התהליך באיזור המגע שבין האופן והעופד.



ציור 3 — תיאור סכמטי של מנגנון פעולת התהליך באיזור שמאחורי האופן

תכונותיו של תהליך ההשחזה האלקטרוכימית מכתיבות את תחום השימוש בו. הקריטריונים הם כלכליים וטכנולוגיים כאחד. התהליך מתאים במיוחד להשחזות כלי מתק"ש וחומרים מתכתיים קשי-עבוד אחרים, כאשר דרישות הדיוק והרפרודוקטיביות אינן חמורות מדי.

להלן השימושים העיקריים:

- השחזה מישורית וצורתית של חומרים בעלי תכונות חוזק גבוהות, כגון נתיבים שונים של ברזל, ניקל, קובלט וטיטניום. לתחום זה ניתן לשייך את עיבודם של פריטים אורונאוטיים רבים, וכדוגמה בולטת נזכיר את עיבוד כפות-הטורבינה של מנועי-סילון.

- השחזה מישורית וצורתית של חומרים בעלי קשיות גבוהה, כגון עיבוד של כלי-חיתוך מחומרי מתק"ש ופלדה-מהירה, ועיבוד פריטי נשק המטופלים תרמית.

- עיבוד פריטים עדינים ותמירים (שלא ניתן להפעיל עליהם כוחות עיבוד משמעותיים), כגון צינורות ותעלות דקי-דופן.

- עיבוד פריטים ללא צילוע, ללא מאמצים שאריתיים וללא השפעות תרמיות.

תיאור משתני התהליך

לעומת תהליכי השיבוב הרגילים, המוגדרים על ידי הצמד כלי-עופד, מאופיינת ההשחזה האלקטרוכימית על ידי שלושה גורמים:

האברסיבי הינו חומר קשה ומבודד מבחינה חשמלית (יהלום או תחמוצת-האלומיניום). הכוש מצויד בטבעת החלקה או במברשת המאפשרת אספקת מתח לכוש תוך כדי סיבובו.

בנוסף לכך מצוידת המכונה במערכת שאיבה המספקת זרם רצוף של אלקטרוליט. זרם האלקטרוליט עובר תהליך של טיהור, על-ידי סינון, צנטריפוגה ואמבט-שיקוע, והוא מותו בלחץ אל המירווח שבין העופד ובין החומר המלכד של האופן.

ספקי-הכוח המקובלים והנמצאים בשימוש מסחרי כיום, כוללים בקרת מתח וזרם המאפשרת לייצב את אחד משני המשתנים האלה ולשמרו בערך קבוע. מתחי העבודה המקובלים בתהליך הם בתחום של 5—12 וולט. ערכי הזרם, כתלות בשטח ההשחזה, יכולים לנוע בתחום של עשרות ועד מאות אחרות של אמפרים. תוך כדי הפעולה, יש צורך לרענן מדי פעם את החומר האברסיבי של האופן ולנקותו מבחינה אלקטרוכימית על ידי עזר-ניקוי מנחושת (הדבר נעשה על ידי הפיכת קוטביות התהליך).

ציוד מיוחד לתהליך ההשחזה האלקטרוכימית מיוצר על ידי חברות שונות במגוון של גדלים המותאמים לשימושים שונים. ניתן למצוא ספקי-כוח של 150, 300, 600, 800 ו-1000 אמפר, מנועים ראשיים בעלי הספק של 1—5 כ"ס, מערכות קידמה הידרוליות ומערכות לשאיבת אלקטרוליט. פרט לכך, ניתן בקלות להפוך מכונת השחזה רגילה למכונת השחזה אלקטרוכימית על ידי ביצוע השינויים שצויינו.

תכונות התהליך והשימוש בו

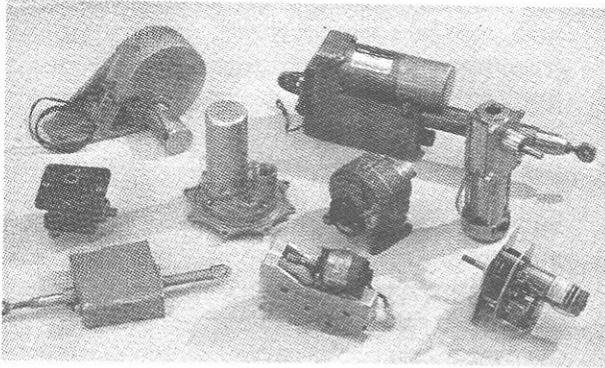
בבואנו לסקור את תכונות התהליך יהיה מן הנכון לפרט את יתרונותיו ואת מגבלותיו בהשוואה לתהליך ההשחזה הרגילה.

להלן עיקרי התכונות:

- קצב גבוה בהסרת חומר. התכונה הזאת חשובה במיוחד לגבי חומרים קשי-עבוד כגון מתכות-רפלקטוריות ומתק"ש.
- כמות החום המתפתחת בזמן העיבוד הינה קטנה ביותר, ולכן נמנעות תופעות בלתי-רצויות, כגון איזורים המושפעים תרמית וסדקים.
- מאחר והתהליך מבוסס בעיקרו על התמוססות אלקטרוכימית של חומר-העופד, הרי שנמנעות גם תופעות הלוואי הבלתי-רצויות של השיבוב המכני, כגון מאמצים שאריתיים ועיוותים. כמו כן אין צילוע בעקבות העיבוד.
- בלאי האופן קטן. הדבר מביא לחסכון כלכלי ניכר, במיוחד במקרה של אופני-יהלום, ולשמירת הפרופיל במקרה של השחזה צורתית.
- תצרוכת אנרגיה גבוהה.
- העופד חייב להיות מוליך-זרם.
- דיוקים וסבולות צפופים מדי אינם ניתנים להשגה, מאחר שאין שליטה על תופעות של איפול בלתי-אחיד ושל חיתוך-יתר.
- קורוזיביות האלקטרוליט משפיעה לרעה על המכונה וסביבתה.

(2) מתכות בעלות קושיות גבוהה ועמידות בטמפרטורות גבוהות ובשחיקה.

TRW GLOBE MOTORS



Linear and rotary actuators are among the "motion systems" which Globe has produced for the military, industrial, and commercial markets.

טלניטון
TALVITON
טלניטון אלקטרוניקה בע"מ
רח' בילטמור 9 ת"א 61210, ת.ד. 21104
PHONES 444572, 446280, 455626 P. O. B. 21104 - TEL-AVIV

שנפ 77

המילה האחרונה במצברים!

SHNAPP 77 אחריות - 12 חודש!

SHNAPP 77 ארגז פוליפרופילן שקוף!



ע.שנפ ושות'.בע"מ

- **אופן ההשחזה** — הכלי.
- **עובד** — החומר המעובד בפעולה משולבת, אלקטרוכימית ואברסיבית.
- **אלקטרוליט** — התמיסה המזורמת במירווח העבודה שבין הכלי והעובד והמשמשת כנושאת המטענים של הפעולה האלקטרוכימית.
- לכל אחד מהשלישיה הזו ישנן תכונות-משנה, העשויות לשמש כמשתני התהליך.
- בנוסף לאלה ישנם משתנים המגדירים את תנאי העיבוד, כגון מתח וזרם העבודה, עומק ההשחזה, קידמה, מהירות היקפית של האופן וכו', וכן משתני התפוקה כגון קצב הסרה, נצילות התהליך ותופעות פני-השטח שבעקבות העיבוד; כל המשתנים האלה הם למעשה משתנים תלויים. נסקור להלן את החשובים שבין הפרמטרים הקבועים ואת משתני הבקרה ונבדוק את ההשפעה שיש להם על המשתנים התלויים ועל משתני התפוקה.

אופן ההשחזה

אופן ההשחזה משפיע על יעילות הפעולה האלקטרוכימית והאברסיבית כאחד. יעילות הפעולה האלקטרוכימית תלויה בכמות הזרם המועברת בתהליך, ואילו כמות הזרם תלויה בהתנגדות להולכה של כל אחד ממרכיבי התהליך — האופן, העובד והאלקטרוליט. האופן משפיע גם על גודל מירווח העבודה, ועל-ידי כך גם על התנגדותו החשמלית. יעילות הפעולה האברסיבית תלויה בעיקר בנתוני האופן, כגון סוג האברסיב, גודל גרעיניו וריכוזו.

המשתנים העיקריים אשר קשורים באופן הם: **ההולכה החשמלית של החומר המלכד** — זו קובעת את התנגדות האופן להעברת הזרם החשמלי במערכת. מאחר, שבדרך כלל, האופן הוא בעל ההתנגדות הגדולה ביותר מבין כל המרכיבים הרי שהוא עלול להיות "צוואר הבקבוק" של התהליך.

המלכדים הם משני סוגים עיקריים:

— **מלכד מתכתי** — כגון נתרן-הברונזה המקובל באופני יהלום, המתאים במיוחד להשחזה מישורית ואינו ניתן לשינוי צורה.

— **מלכד אלמנטרי וסינטטי** — כגון מלכד גרפיטי — Carbond, או סינטטי מסוג סט עם אבקת-נחושת — Copperdyne — 23. מלכדים מסוג זה משובצים בדרך כלל באברסיב תחמוצת-האלומיניום, ויתרונם הבולט, היא היכולת לעצבם לצורות להשחזה פרופילית.

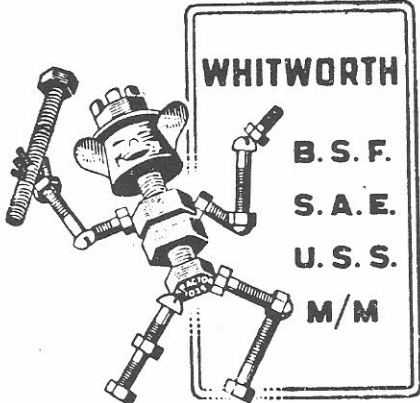
סוג האברסיב — כאמור, חייב האברסיב להיות חומר מבודד מבחינה חשמלית, על מנת לשמור על מירווח-עבודה בין הקטודה (אופן) והאנודה (עובד).

סוגי האברסיב השימושיים ביותר הם:

היהלום — להשחזות חומרים שקשיותם עולה על HRc-65 (כגון מתק"ש).

תחמוצת האלומיניום — להשחזות חומרים שקשיותם אינה עולה על HRc-65.

אופני היהלום עמידים יותר בפני בלאי, ולכן נשמרת עמידותם גם כאשר החלק האברסיבי בתהליך הולך ומתרחב. לעומתם, אופני תחמוצת-האלומיניום אינם יכולים לעמוד לאורך זמן בפני פעולת שחיקה משמעותית.



WHITWORTH
B.S.F.
S.A.E.
U.S.S.
M/M

חסר לך בורג ?!
פנה ל...

שיברוג בע"מ שוק וייצור ברגים
SHIVRUG Ltd. Fasteners
רח' הגרא 17, תנ" אביב, ת.ד. 28073, P.O.B. 28073, Tel-Aviv, Hagra St. 17,
טלפון 331194, 330819

להבי ישקר
בע"מ

נהריה ת.ד. 330, מיקוד 22102
טלפון 04-927831

✧ יצרן להבים לחיל האוויר ולתעשיית המנועים העולמית.

✧ מפעל חדיש ומתוחכם בין כרי דשא המשקיף אל חוף הים של נהריה.

✧ קידום ותמורה על בסיס הישגים אישיים.

✧ משוחררי צה"ל אשר מועסקים במפעלנו, מקבלים את מלוא השכר ובנוסף לכך, הקלות במס הנתנות לחיילים משוחררים.

דרושים
מהנדסי מכונות מעולים

לפיתוח, שיפור תהליכים ואבטחת איכות בייצור להבים למנועי סילון.

— יועדפו בעלי ניסיון בתחום החשול המדויק והעבוד השבבי.

— ידיעת השפה האנגלית — רצויה.

נא לפנות בכתב יד, עם פרוט ניסיון קודם אל רפי גת מנהל כח אדם.

מאידך, גרעיני היהלום יוצרים חריצי עיבוד אופייניים על פני העובד, ולעומתם גרעיני תחמוצת-האלומיניום כמעט ואינם משאירים עקבות של עיבוד.

גודל גרעיני האברסיב — משפיע על גודל מירווח-העבודה, על בלאי האופן ועל טיב השטח המעובד. ככל שהגרעינים גדולים יותר, מירווח העבודה גדול יותר, בלאי האופן קטן יותר וטיב השטח ירוד יותר. מירווח-העבודה המומלץ באופני יהלום הוא כאלפית האינץ'. ניתן להגיע למירווח הזה, כאשר גודל הגרעינים נע בתחום של 40—200 (Mesh), בתלות בלחץ אופן-עובד ובמהירות הקידמה.

ריכוז האברסיב (נתון באחוזים) — משפיע בעיקר על ספיקת האלקטרוליט במירווח, על בלאי האופן ועל טיב השטח המעובד. ככל שריכוז האברסיב גדול יותר ספיקת המירווח קטנה יותר, אך היעילות וטיב השטח טובים יותר. בלאי האופן — זהו קריטריון כלכלי וטכנולוגי חשוב להערכת יעילות תהליך ההשחזה, חשיבות זו מקבלת משנה-תוקף במקרה של השחזה צורתית (פרופילית), שלגביה מתחייבת שמירה קפדנית על הצורה ועל מידות האופן. הניסויים בתחום בלאי האופן בתהליך ECG מורות על התקדמות בלאי איטית מאוד ויחסית לזמן. הבלאי הספציפי (נפח בלאי האופן לעומת הנפח המוסר מהעובד) במקרה של השחזה היקפית של פלדה מהירה HSS-M2 על ידי אופן מסוג Copperdyne-23, לא עלה על מחצית האחוז. לעומת זאת, בהשחזה של אותה פלדה באמצעות אופן יהלום מסוג Eleform D-100, הבלאי (אם בכלל) היה כה קטן עד שלא ניתן היה למדוד אותו. התוצאות האלה מצביעות על אפשרויות נרחבות ליישום התהליך בתחום ההשחזה ההיקפית.

העובד

כאמור, המגבלה היחידה ביחס לחומר העובד, הוא הצורך להוליד זרם חשמל. יעילות העיבוד מותנית במידה רבה מאוד באקטיביות האלקטרוכימית של המערכת עובד-אלקטרוליט, אך כמעט ואינה מושפעת מן התכונות המכניות של החומר. לפיכך, משמש התהליך במיוחד לעיבוד חומרים קשי-עיבוד, כגון חומרי מתק"ש, חומרים אקזוטיים ונתכים העמידים בטמפרטורות גבוהות. לעיתים קרובות משתמשים בתהליך גם לעיבוד חומרים פשוטים יותר, כאשר מבקשים להשיג יתרונות, כגון מניעת היווצרות צילוע (גרדים), מאמצים שאריתיים, עיוותים והשפעות תרמיות.

המשתנים העיקריים הקשורים בחומר העובד, הם ההרכב הכימי והמבנה המטלורגי, שישפיעו בסופו של דבר על תכונות העיבוד, כגון דיוק וטיב פני-השטח. גם לצורת העובד ולגודל החתך האפקטיבי יש השפעה על תנאי העיבוד (צפיפות הזרם וזרימת האלקטרוליט) וכתוצאה מכך הם שולטים על תופעות כגון "בריחת זרם", התמוססות אלקטרוכימית בלתי-אחידה וחיתוך-יתר. ככל שהחתך האפקטיבי יהיה קטן יותר יתקבלו צפיפויות-זרם וקצבי-הסרה קטנים יותר. עובדה זו מאירה את אחת הבעיות המקובלות בהפעלה התעשייתית של התהליך — עבור שני חומרים, הזהים מבחינת ההרכב והמבנה המטלורגי, אך שונים בחתך האפקטיבי שלהם, יתקבלו תנאי עיבוד שונים למרות בקרת הערכים ביתר המשתנים.

בתכונות האלקטרוכימיות של העובר, שמתחת לו מאבד התהליך את אופיו האלקטרוכימי.

צפיפות הזרם

תהליך ההשחזה האלקטרוכימית מתנהג בעיקרו בהתאם לחוק פרדיי, דהיינו, האלקטרוליזה הינה פונקציה ישירה לכמות הזרם שעוברת דרך חתך העיבוד ביחידת זמן. הקשר הזה נכון, כל עוד החלק האלקטרוכימי בתהליך הוא הדומיננטי. אולם, כאשר החלק האברסיבי גדל, או כאשר מתח-העבודה גורם לפריצת מירווח-העבודה, חדל הקשר הזה מלהתקיים. גם כאן קיים אופטימום להסרה מקסימלית, שמעבר לו, למרות הגידול בצפיפות הזרם יקטן קצב-ההסרה. התופעה הזו מוסברת, כאמור, בפריצת מירווח-העבודה והיא מתבטאת בקצרים ובקשטות בהירים המלווים בקולות עמומים. בדיקה מיקרוסקופית של התופעה תגלה בפני העובר מכתשים, הדומים לאלה הנוצרים בתהליך האלקטרוארוזיה (EDM). לצפיפות-הזרם יש, אם כן, השלכה על הפרמטרים הקשורים בתופעות פני-השטח.

למרות חשיבותה של צפיפות-הזרם, יש לשים לב לעובדה שהיא מושפעת מההולכה החשמלית של האופן, של האלקטרוליט ושל העובר וכן ממירווח-העבודה, ואילו מירווח-העבודה תלוי בנתוני האופן ובלחץ הקידמה. כמו כן, בו בזמן שהמתח ניתן לקביעה מראש, הרי שצפיפות-הזרם תלויה בגורמים רבים ולכן היא משתנה תלוי.

קידמת העיבוד

זהו פרמטר מבוקר חשוב, המשפיע בתחומים רבים. קידמת העיבוד קובעת בראש ובראשונה את גודל מירווח-העבודה. ככל שהקידמה גדולה יותר, כן גדלה חשיבותו של החלק האברסיבי בתהליך. האברסיב חודר עמוק יותר לתוך העובר והמירווח האפקטיבי קטן תוך כדי הקטנת ההתנגדות של המירווח האלקטרוליטי.

האלקטרוליט*

כאמור, המשתנים העיקריים הקשורים באלקטרוליט, הם האקטיביות האלקטרוכימית ביחס לחומר העובר, הריכוז, הטמפרטורה והספיקה. בתהליך ההשחזה האלקטרוכימית משתמשים באלקטרוליטים פסיביים כגון KNO_3 , KNO_2 , $NaNO_3$, $NaNO_2$, שיתרונם בכך שהם פחות קורוזיביים ולפיכך הם גורמים לחיתוך-יותר קטן יותר ולרמת-טיב גבוהה יותר של פני-השטח.

ריכוז האלקטרוליט משפיע על צפיפות הזרם. צפיפות זו גדלה ביחס ישר לגידול באחוז האלקטרוליט, עד לריכוז 5—6 אחוזים; מעבר לערך זה, ההשפעה זניחה.

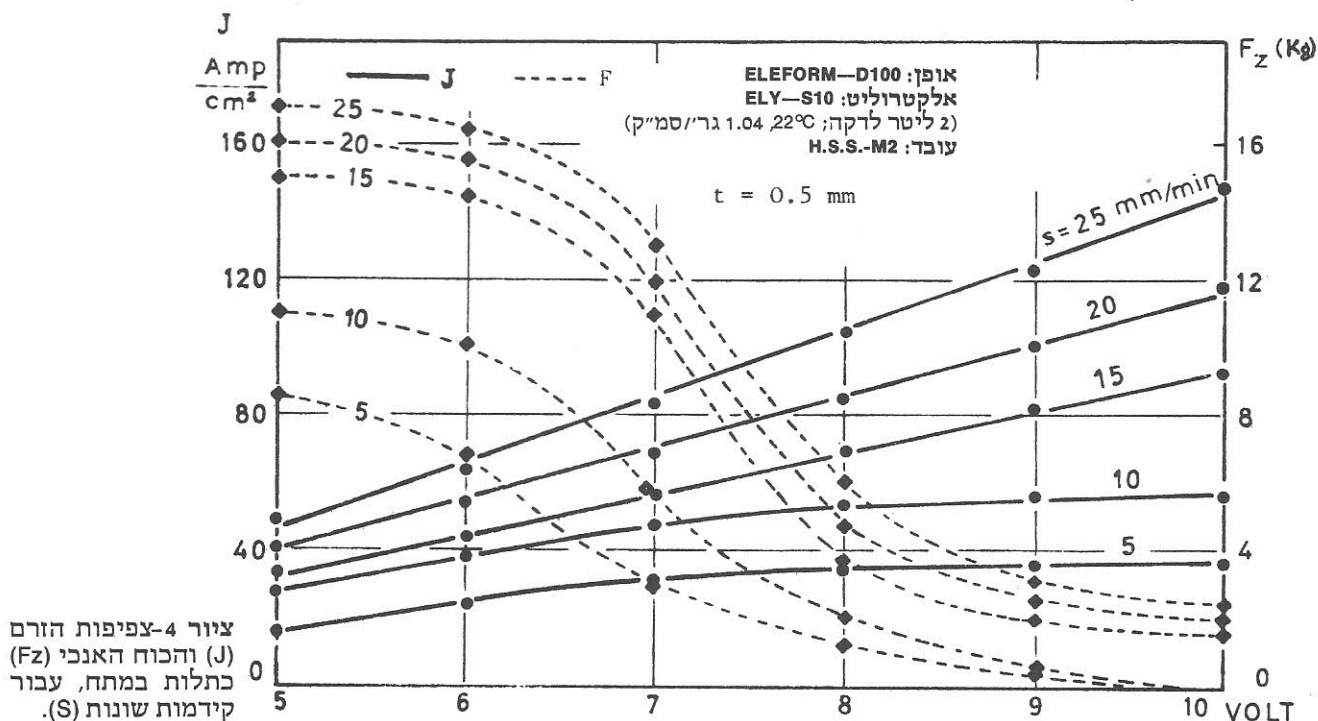
חימום האלקטרוליט מגדיל את קצב העיבוד, אך בתהליך ההשחזה האלקטרוכימית אין נוהגים לנצל תכונה זו עקב תופעות נלוות בלתי-רצויות, כגון היווצרות ראקציות כימיות המעכבות את התהליך, וירידה משמעותית בטיב העיבוד (דיוק וטיב פני-השטח). לגבי הספיקה של האלקטרוליט יש להבחין בשני גדלים: הספיקה הגלובלית וספיקת המירווח. לספיקה הגלובלית אין השפעה ניכרת כל עוד מובטחת ספיקת מירווח מינימלית הדרושה לקיום התהליך האלקטרוכימי במלואו.

מתח העבודה

זהו פרמטר-בקרה חשוב של התהליך. הוא מאלץ את קיום תנועת נושאי המטענים, שכתוצאה ממנה מוצאת לפועל ההתמוססות האלקטרוליטית. למתח השפעה על משתני התפוקה, כגון קצב-ההסרה וטיב השטח.

קצב הסרת החומר הולך וגדל עם הגדלת המתח, עד לאופטימום מסוים, שמעבר לו מתקבלת הקטנה בקצב ההסרה. מאידך, ידוע שקיים גם מינימום מסוים, התלוי

* על תכונות האלקטרוליט ועל תפקידיו עמדנו בהרחבה במאמר על תהליכי עיבוד אלקטרוכימיים, שפורסם בחוברת 72/73.





יש דרך אחרת



מאספת הזמנות

מיועדת ומותאמת לתפעול במחסנים, ספריות, ארכיונים, ביצוע עבודות אחזקה במפעלים וכו'.

- ★ גובה עבודה מירבי 4.5 מ'.
- ★ הסעה ידנית והרמה חשמלית.
- ★ הפעלה מהתא.
- ★ מאושר ע"י משרד העבודה.



אמיר

חברה להנדסה ומסחר בע"מ

רח' יצחק א"ת, 175 גבעתיים 53236, טל' 03-737441, 730895

כאשר מירווח-העבודה קטן מעבר לערך קריטי מסוים, המתח פורץ אותו. במקרים קיצוניים עלול להיווצר מגע ישיר בין החומר המלכד שבאופן ובין העובד. תופעות מסוג זה יש למנוע, מאחר שהן גורמות נזק לאופן ולעובד כאחד. כאשר הקידמה קטנה מדי, הריטוש של שיכבת הפסיבציה לא יהיה אפקטיבי, והדבר עלול לגרום לטיב-שטח ירוד כתוצאה מיכול בלתי-אחיד ולחיווצרות מוקדי אקטיבציה מקומיים בצורה של גימום (PITTING).

הקשר בין הפרמטרים העיקריים, כגון מתח, צפיפות-זרם, הכוח הניצב לפני-השטח וקידמת העיבוד מתואר בציור 4.

עומק ההשחזה

זהו פרמטר מבוקר, שהשפעתו דומה לזו של קידמת העיבוד. בניגוד להשחזה רגילה, שבה מקובל לבחור קידמה גדולה ועומק שבב קטן, הרי שבהשחזה האלקטרוכימית מקובל לבחור עומק שבב גדול וקידמה קטנה. בעיבוד גס ניתן "לקחת" שבב של מילימטרים אחדים, ואילו בעיבוד גמר — עד עשירית המ"מ.

המהירות ההיקפית של האופן

פרמטר זה משפיע על ספיקת המירווח ועל היעילות האברסיבית של האופן. האלקטרוליט המסופק לאיזור העבודה ממלא את פני-השטח המחוּספסים של האופן ומתקבל אפקט של אימפולר-משאבה המעביר את האלקטרוליט אל מירווח-העבודה. ככל שתגדל מהירות ההיקפית של האופן כן יגדלו ספיקת המירווח, קצב הרחקת תוצרי-הלוואי ואינטנסיביות ריטוש פני-השטח. כן נמצא, שמהירויות של 35—40 מטרים לשניה מביאות ליעילות הסרה מירבית; מעבר למהירות של 40 מטרים לשניה ההשפעה הזו נחלשת ואף נעלמת כליל.

תופעות פני-השטח

תופעות פני-השטח האופייניות לתהליך ההשחזה האלקטרוכימית הן:

טיב פני-השטח — בו בזמן שמראה פני-השטח של עובד לאחר תהליך השחזה רגילה מאופיין על ידי ברק מתכתי וסימני עיבוד בעלי כיווניות מוגדרת, הרי שלפני השטח בתהליך ההשחזה האלקטרוכימית מראה אלמתכתי (בלתי-מבריק) ומחוסר כיווניות-עיבוד. טיב השטח מושפע על ידי פרמטרים רבים, כגון הרכב כימי של העובד, סוג האופן וגודל גרעיניו, מתח-העבודה, צפיפות-הזרם, עומק ההשחזה וקידמת השולחן, מרקם פני-השטח נשלט, בדרך כלל, על-ידי אופי הפעילות האלקטרוכימית של מרכיבי העובד, ועל ידי פיזור ההטרונגיות האלקטרוכימית שבו. ככל שיהיה קצב ההתמוססות האנודית של המרכיבים השונים — שונה, כן צפוי איבול סלקטיבי עמוק יותר של הפזות השונות. איכול זה ילך ויגבר עם עליית המתח, ויפחת עם הגדלת התרומה האברסיבית לתהליך. האיכול מותנה במבנה המטלורגי של העובד ובסוג האלקטרוליט. כאשר תוצרי הראקציה הכימית אינם מתמוססים באלקטרוליט, נוצרת שיכבה פסיבציה, המקטינה את האקטיביות האלקטרוכימית, במיוחד באיזור שמאחורי האופן. היווצרות השכבות האלה מותנית בתכונות המערכת עובד-אלקטרוליט ובתנאי המתח והזרם שבמירווח האלקטרוליטי.

השחזת מצח

זו צורת השימוש המקובלת ביותר של תהליך ההשחזה האלקטרוכימית, והיא משמשת בעיקר בהשחזת כלי מתק"ש. כאן, תנועת הקידמה האורכית של השולחן מונקרת בתנועת קידמה רוחבית המזינה את הכלי לעומת מצח אופני-ההשחזה. מתח-העבודה והלחץ שנוצר בין האופן ובין העובר הם הקובעים כאן את צפיפות הזרם, את שיעור חלקה של הפעולה האברסיבית לתהליך הכולל, את קצב ההסרה ואת תופעות פני-השטח.

אחת התופעות האופייניות בהשחזה האלקטרוכימית של חומרי מתק"ש היא ההמסה המועדפת של החומר המלכד (Co) ביחס למרכיב הקשה — הקרבידים (WC, TiC, TaC). תופעה זו, שהינה למעשה איכול סלקטיבי, נובעת מן השוני בקצב ההמסה הנפחית הסגולית של מרכיבי המתק"ש. תנאי העיבוד האופייניים:

מתח-עבודה — 8—12 וולט
צפיפות-זרם — 50—100 אמפר לסמ"ר
מהירות-חיתוך — 25—35 מטר לשניה
קצב-הסרה — 0.8—1.0 סמ"ק לדקה לכל 1000 אמפר דיוק — ± 0.01 מ"מ
טיב-שטח — 2—4 מיקרון (Ri)
אלקטרוליט — $\text{NaNO}_2 + \text{NaNO}_3$

**

פורסם ב"מערכות כימוש":

- תהליכי עיבוד חרישי / ד"ר מנחם גבע — חוברת 62, עמוד 24.
- תהליכי עיבוד אלקטרוכימיים / ד"ר מנחם גבע — חוברת 72/73, עמוד 34.

תופעת "חיתוך-יתר" (OVERCUT) — זו תופעה שולטת, המגבילה את השימוש בתהליך ההשחזה ההיקפית, במיוחד במקרים שבהם דרושה בקרת-מימדים בתחום סבולות צר. חיתוך-יתר הינו למעשה המסה אלקטרוליטית עודפת, המתהווה בעקבות הפעילות האלקטרוכימית שמאחורי האופן. מידת חיתוך-היתר, היא ההפרש בין עומק העיבוד שנקבע ובין המידות הסופיות של המוצר. כאמור למידת חיתוך-היתר ולאחידותו יש השפעה ניכרת על היווצרותן של תופעות פני-שטח אחרות. חיתוך-יתר מושפע על-ידי גורמים רבים, כגון אקטיביות אלקטרוכימית של המערכת עובר-אלקטרוליט, מתח-העבודה, צפיפות-הזרם, עומק-ההשחזה וקידמת-השולחן.

שימושים

ההשחזה האלקטרוכימית ההיקפית, כפי שתוארה בסעיפים הקודמים, משמשת במיוחד להשחזה פרופילית של חומרים קשיחים, כגון חומרים בעלי קשיות גבוהה, או חומרים בעלי תכונות חזק מעולות, העמידים בטמפרטורות גבוהות.

יתרונות התהליך, הם כלכליים — קצב-הסרה גבוה ובלאי-אופן נמוך, וטכנולוגיים — מניעת תופעות פני-שטח בלתי-רצויות.

דוגמה אופיינית לשימוש בשיטה זו היא ההשחזה הצורתית של להבי-טורבינות. תנאי העיבוד האופייניים:

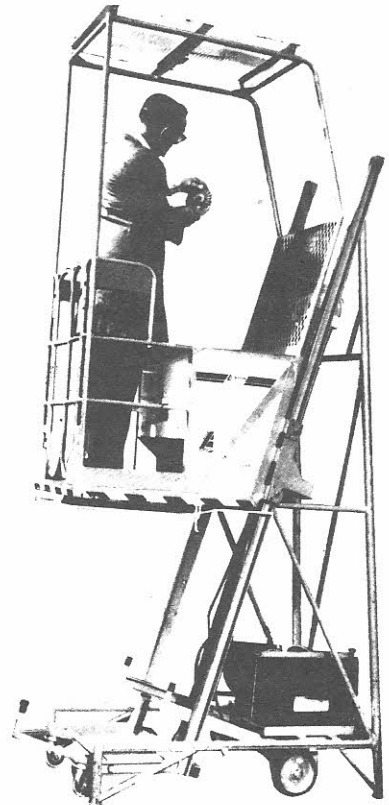
מתח-עבודה — 10—12 וולט
צפיפות-זרם — 200—250 אמפר לסמ"ר
קצב-הסרה — 1.5 סמ"ק לדקה לכל 1000 אמפר דיוק — ± 0.01 מ"מ
טיב-שטח — 7—15 מיקרון (Ri)
אלקטרוליט — $\text{NaNO}_2 + \text{NaNO}_3$

סולם נייד - ESCALIFT

ה-ESCALIFT הינו סולם נייד, מעוצב ומיוצר במיוחד עבור מעברים צרים — יתרון המאפשר ניצול מירבי של שטח האחסון.

הסולם מתופעל מכנית או ידנית לבחירתך ויעיל עבור אחסון בגבהים שונים. הינו נוסע/נדחף וניתן לתמרון בקלות. תפעולו קל עד מאד, עם בטיחות מירבית.

ה-ESCALIFT הינו מחליפו לעתיד של הסולם הגבוה, ה-מוכר והידוע לכולנו. כאשר ה-ESCALIFT מצוי ברשותך, השימוש בגלריות ובסולמות מיותר לחלוטין. מחירו של ה-ESCALIFT זול בהשוואה לעלות גלריות, זמן מבוצע לצורך עליה וירידה במדרגות וכו'.



מ ס ק ו ציוד לבניה, לתעשייה ולחקלאות בע"מ
רח' יוסף לוי 1, אזור התעשייה קרית ביאליק.
ת.ד. 1003, קרית ביאליק, 27000. טלס 45136.
ת.ד. 1616, חיפה 31000, טל' 705967, 705972.

(ב)

פרק א' של המאמר, פורסם בגיליון מס' 76 והוקדש לאטמים סטטיים. פרק ב', המובא להלן, עוסק באטמים דינמיים.

מעובד מתוך:

HYDRAULICS & PNEUMATICS

מרץ 1981.

אחד הנימוקים העיקריים המעורר התנגדות לשימוש באטמים במערכות הידרוליות הוא דליפות במערכת. מעריכים, כי ניתן היה לחסוך כל שנה יותר ממאה מיליון גלון של זורם, לו מנעו דליפות חיצוניות ממערכות הידרוליות.

החברה האמריקנית "מובייל-איל-קואופורישן" ערכה מחקר ופיתחה מִדָּד לזורם ההידרולי (HFI), שבאמצעותו ניתן לערוך השוואה בין קיבול השמן במיכל לבין צריכת השמן. המחקר מגלה, כי מדד הזורם ההידרולי בארצות הברית הוא 4; פירושו — שכל שנה, מפעל ממוצע משתמש בשמן שכמותו גדולה פי ארבעה מקיבול השמן במכלי הצידוד ההידרולי והמערכות שברשותו.

האם קיימת אפשרות למנוע דליפות חיצוניות של זורם? התשובה היא חיובית. מערכות הידרוליות במטוסים נטולות למעשה כל דליפה, ודליפות במערכות צידוד ממונעות פחתו במידה ניכרת. בצידוד תעשייתי מתוכנן ומוחקק כהלכה, בעיית הדליפות נעלמה כמעט כליל.

הצמצומים בהיקף הדליפות הושגו כתוצאה מפיתוח אטמים משופרים ומטכנולוגיה ותכנון מתקדמים.

א

ט

מ

י

ם

אטמים דינמיים

תנועה קווית בין שני חלקים מוסיפה מימד חשוב על בעיית האטימה. החיכוך והבליה המתלווה אליו מצטרפים לרשימת הגורמים שמהנדס התכנון צריך להתמודד בהם: הטמפרטורה, תאימות הזורם (compatibility) והלחץ.

האטם שנועד לאטימת חלק הנמצא בתנועה קווית חייב לענות על הדרישות לאטימה סטטית בשטח המגע שלו עם החלק שאינו בתנועה, וכן הוא צריך ליצור אטימה יעילה בשטח המגע שלו עם החלק שבתנועה קווית.

האטם האידיאלי צריך להצטיין בתכונות האלה:

- מניעת דליפה בתחומי הלחץ שהוא נתון בהם.
- אורך-חיים גדול יחד עם אחזקה מזערית.
- התאמה לסוגי הזורם בתחומי טמפרטורות ולחצי תפעול.
- מבנה שלם במידה מספקת כדי למנוע זיהום הזורם.
- נוחות התקנה, הסרה והחלפה.
- הרחקת גופים זרים.
- מחיר זול.

שתי התכונות הראשונות מנגזרות זו לזו כאשר מדובר במצב של אטימה דינמית.

אטם-מעטה טוב הוא האמצעי היעיל ביותר כדי למנוע דליפה, אולם כוחות המעטה הלוחצים על האטם כנגד חלק הנמצא בתנועה קווית מחייבים את תהליך בליית האטם ומקצרים את אורך חייו. לפיכך, בכל תכנון של אטם דינמי חייבים להתפשר על מנת ליצור איזון סביר בין שתי התכונות הרצויות הללו. המגוון הגדול של צורות וחומרי אטימה נותן בידי המתכנן את האפשרות לבחור בשיעור הפשרה הרצוי לשימוש מסוים, ויחד עם זאת לקבל את יתר הדרישות שמוניו.

אטימת צילינדר

צילינדר אופייני לפעולה דו צדדית (ציור 1) נאטם דינמית בין הבוכנה ובין הקדח וכן בצד שדרכו יוצא מוט-הבוכנה מן הצילינדר. דליפה פנימית מסביב לבוכנה אינה צריכה להדאיג במיוחד, בתנאי שאין היא פוגעת בביצועים. אולם, דליפה באטם מוט-הבוכנה עלולה להחמיר וזהו אל תוך הצילינדר ואל המערכת, לגרור רַחֲשֵׁ-לוואי או להותיר שלולית מסוכנת של זורם הידרולי יקר. בכל מחזור-תנועה של הצילינדר, נתון כל אטם דינמי, חליפות, ללחץ נמוך וללחץ גבוה. שינויי הלחץ הללו ושינויי כיוון התנועה של הבוכנה ושל מוט-הבוכנה יוצרים הבדלים קיצוניים בתנאי האטימה.

לדוגמה, נתייחס לטבעת-0 פשוטה (ציור 2) הלחוצה בקדח המעבר של מוט-הבוכנה. במצב מנוחה, שטחי האטימה

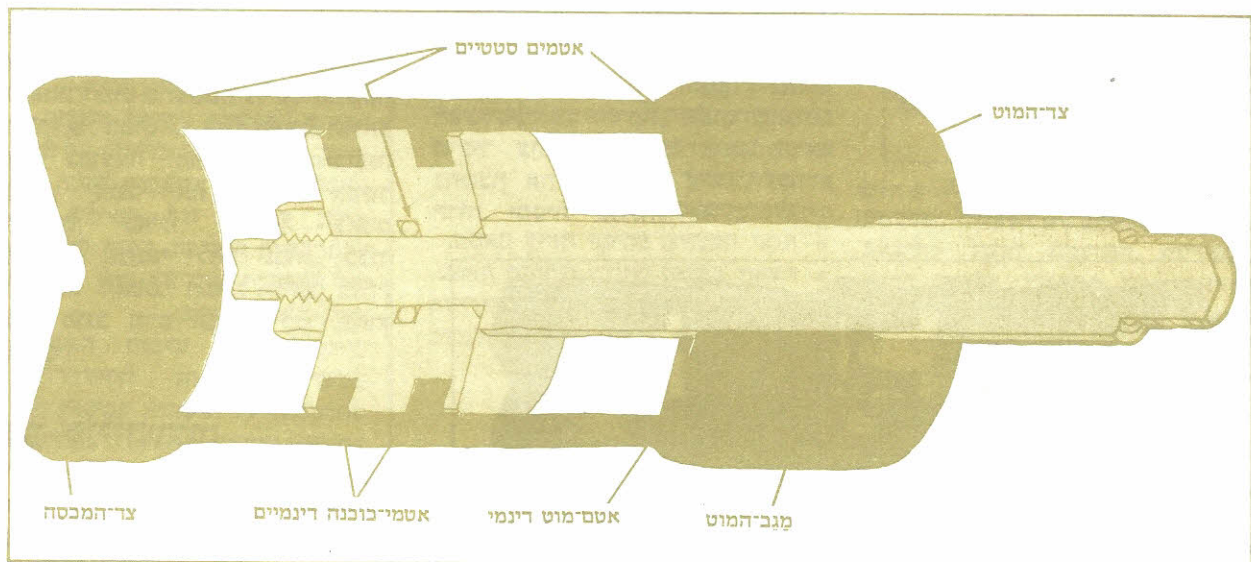
הם פונקציה של מעיכה מכנית. חומר האטם יכול ל"חול" ולמלא את החללים הזעירים בשטחי המגע, וכך ליצור אטימה יעילה יותר.

בשעת יציאת המוט, שטח המגע של האטם עם המוט הנע נתון לתנאי עבודה חדשים. זחילת חומר האטם אל תוך החללים הזעירים שעל-פני מוט-הבוכנה אינה רצויה עתה. שטח המגע של האטם והמוט מתרחב במקצת כתוצאה מהחיכוך, אולם שלמות האטימה עדיין מבוקרת על-ידי המעטה המכנית הראשונית משום שהלחץ הפנימי בצד המוט נשאר נמוך.

כאשר זורם בלחץ גבוה חודר לצד המוט של הבוכנה כדי להחזיר את המוט אל תוך הצילינדר, האטם מתעוות ומגדיל את שטח האטימה. שטח האטימה המוגדל כנגד המוט הנע יוצר חיכוך נוסף המגדיל את עיוות האטם. בתנאים אלה נוצרת האטימה ההדוקה ביותר, אך כאן עלולה להתרחש גם הבליה הגדולה ביותר.

סיכה

סיכה נאותה היא אחת מהתשובות הכלליות לבעיות של חיכוך ובליה. סיכת שטח-המגע של האטם הדינמי מאריכה את חייו של האטם. בצילינדרים הידרוליים, חומר-הסיכה הינו, בדרך כלל, הזורם ההידרולי עצמו. בצילינדרים פנימטיים, אפשר, במהלך היצור, לצפות משטחים פנימיים בחומר-סיכה, או להוסיף אותו כערפל-שמן בתוך האויר הדחוס.



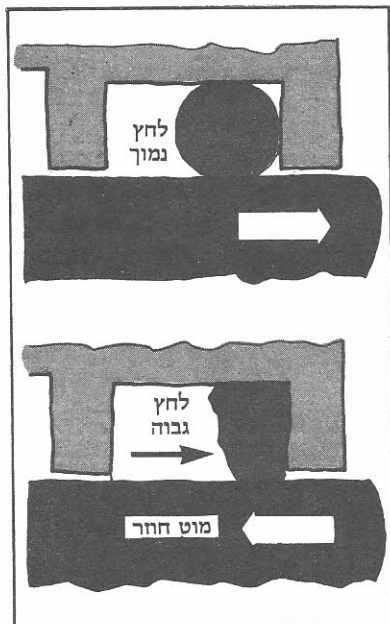
ציור 1 — שטחי אטימה עיקריים בצילינדר אופייני.

מופרזות אפילו ב-10 מיקרואינץ' RMS (ISO N4), ושריטות שטחיות יחסית עלולות להיחפז למעברי-דליפה אם מיונן מקביל לציר הצילינדר.

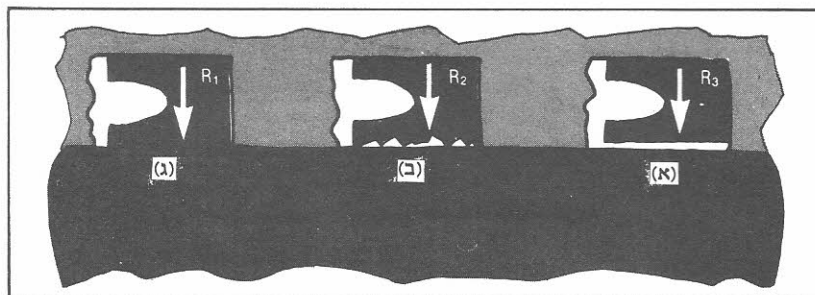
דחיקת אטם ממושבו

כאשר לחץ-הזורם על האטם גבוה במידה מספקת, יתכן שמעט מחומר-האטם יידחק אל תוך המירווח הקיים בין החלקים שיש לאטום (ראה ציור 4). אם קטע-אטם דק כזה נמתח מעבר לגבולו האלסטי עלול להתרחש פְּשֵׁל-דחיקה של האטם, אגב היתקנות חתיכות קטנות מהאטם והפיכתן לגופי-זיהום בתוך המערכת.

במצב זה עלולה להתעורר בעיה אחרת; התנועה היחסית בין חלקי הצילינדר עלולה לגרום לסגירת המירווח בעוד קטע-האטם נמצא בתוכו. תנועה כזו



ציור 2 — עיוות האטם תחת לחץ נמוך (למעלה) ותחת לחץ גבוה (למטה).



ציור 3 — השפעתו של כוח רדיאלי על שכבת חומר-הסיכה: (א) גבוה מדי (ב) נכון (ג) נמוך מדי.

לנקודה מסוימת. שכן, במשטר מתכתי חלק מדי, נעדרים החללים הזעירים שבהם יכול חומר-הסיכה להצטבר, המשטח יתייבש, פשוטו כמשמעו, והחיכוך יגדל.

מזהמים

חלקיקי-זיהום בוזרם או חלקיקים המועברים אל תוך המערכת בעת תנועת מוט-הבוכנה פנימה לתוך הצילינדר עלולים לגרום בעיות אטימה חמורות אם הם נלכדים בין האטם לבין המשטח הנגדי הנע ביחס אליו. חלקיקים התקועים במשטחי המגע מגבירים את החיכוך והבליה, ואם הם קשים במידה מספקת, הם יכולים לחרוץ מעברי-דליפה במוט, כדופן הצילינדר. מערכת סינון יעילה היא אמצעי מניעה ברור. צעד-מניעה אחר הוא התקנת אמצעים להרחקת גופי-זיהום חיצוניים (יתוארו בחלק ג' של המאמר בחוברת הבאה).

עוד שיקול שיש להביאו בחשבון בנושא המזהמים, היא צורתו של האטם בשטח המגע הדינמי. שטחי-מגע בעלי חתך עגול או משופע נוטים לקלוט חלקיקי-זיהום ולהחזיקם מתחת לאטם. שטחי-חתך מרובעים נוטים לסלק חלקיקים לפני הגעתם אל שטח האטימה. שפות דקות מאפשרות לזורם לשטף החוצה גופי-זיהום בעת המהלך של הלחץ הנמוך.

ניסיון וניסויים הביאו לקביעה, כי אין צורך לעבד פני-שטח העומדים בשחיקה לטיב העולה על 10-20 מיקרואינץ' RMS (ISO N5-N4). תחום זה מותיר עדיין את טיב פני-השטח בתחום "מעורפל" במידת-מה, משום שהגדרת שיעור עומק החיספוס אינה מביאה בחשבון את צורתו או כיוונו. נקודות חדות יחסית עלולות לגרום לבליה

עומס רדיאלי על האטם (ראה ציור 3) הוא הגורם הראשון במעלה הקובע את תנאי סיכה. אם הפוח הרדיאלי R1 גבוה מדי, האטם דוחק החוצה את כל חומר-הסיכה ולאחר מכן הוא נתון לתנועתו של המוט היבש (ציור 3-א). התוצאה היא הגדלת החיכוך וריכוז חום, והחמרת מצב הבליה.

אם הפוח הרדיאלי R2 מותאם כהלכה, נוצרים "כיסים" של חומר-סיכה בין האטם ובין המוט (ציור 3-ב) והתוצאה היא צמצום החיכוך, תוך שמירה על אטימה נאותה.

אם הכוח הרדיאלי R3 נמוך מדי, האטם "ירפב" על שכבה עבה של חומר-סיכה, אשר יכולה ליצור נתיבים קבועים לדליפות (ציור 3-ג).

התופעה שבה אטם "רוכב" על שכבה של חומר-סיכה, במקום ליצור מגע חלקי עם החלק הסמוך לו, נקראת "ריחוף הידרולי" (Hydroplaning). יתכן, שהתופעה הזו רצויה בכמה אטמי-בוכנה, בשל יכולתה לצמצם חיכוך, אך הדליפה הקיימת במצב זה אינה רצויה כלל באטמי מוט-הבוכנה. צמיגות-זורם גבוהה מעודדת התפתחות של תופעת הריחוף ההידרולי ועל כן שינויים בטמפרטורה, המשפיעים כמובן על הצמיגות, הם גורם נוסף בהתרחשות תופעה זו.

דליפה בתנאי לחץ נמוך

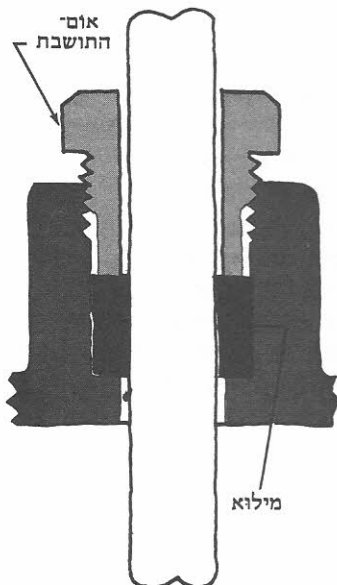
מן ההסבר הפשטני הקודם ניתן ללמוד, שהסיכוי להתרחשות דליפה באטם מוט-הבוכנה עולה דווקא בתנאי לחץ נמוך, שעה שכוחות האטימה הם קטנים ביותר. בצילינדרים הידרוליים, דליפה העוברת את אטם-המוט מתפשטת על פני המשטח החשוף של המוט עד אשר האטם, הנלחץ יותר כתוצאה מחזרת מוט-הבוכנה פנימה, "מגנב" את הדליפה. אפשר להתרשם, כאילו הדליפה באטם מתרחשת בתנאי לחץ גבוה, בעוד שלמעשה האטם, הפועל היטב בלחץ גבוה, מגנב זורם הנמצא כבר מחוץ לצילינדר.

טיב פני-השטח

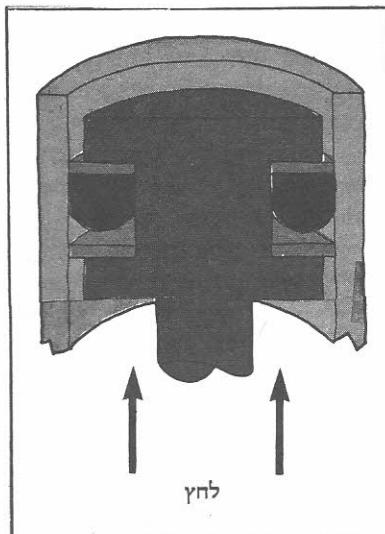
טיב פני-השטח הנמצאים במגע עם האטם הוא עוד גורם חשוב המשפיע על הסיכה. משטח גס יגרום בלא-ספק להתבלות מהירה של האטם, ואילו משטח חלק יצמצם את ממדי התופעה עד

המערכה המכנית הראשונית לגבי יעילות אטימותם. אטמי מעיכה או לחיצה — מתבססים על לחיצה מכנית כדי ליצור את שטחי האטימה הראשוניים שלהם. לחץ העבודה מגביר לאחר מכן את יעילות האטימה.

גובתות-מילוא



יחידות הכוח ההידרולית הראשונות נאטמו על-ידי גובתות-מילוא — חומר מילוי גמיש שמולא בתוך תושבת מתכווננת. כאשר הודקה התושבת נדחק המילוא כנגד החלק הנע ביחס אליו וכך נוצר האטם. כאשר התבלה המילוא והחל לדלוף הודקה התושבת הידוק נוסף. הבעיה העיקרית בשיטת אטימה זו היתה היעדר ידיעה מדויקת על מצב האטימה וחוסר אפשרות לגלות את מידת בלייתו של המילוא עד להתרחשות הדליפה. כוונת לא נכון של התושבת גרם אף הוא לבעיות בסוג האטימה הזה. כיום, מרבית שיטות האטימה במערכות הכוח ההידרוליות מתבססות על תושבות קבועות ועל אטמים יצוקים. גישה זו מחייבת פחות עיבוד, נוחה יותר להרכבה, ויתרונה העיקרי הוא באפשרות לקיים בקרה מדויקת יותר של מצב האטימה.



ציור 5 — טבעות-תמיכה חוסמות את המירוח בין הבוכנה ובין דופן הצילינדר ומסייעות בכך למניעת דחיקת האטם ממושבו.

בעצמם את המירוח על-ידי דחיקה פלסטית. אמצעים אחרים מתוכננים לגרום להידוק רדיאלי בהשפעת לחץ הזורם. מיסבים או טבעות-שחיקה מתאימים הם פתרונות אפשריים נוספים לבעיות של דחיקת אטמים ממושבים.

חיכוך וגרר

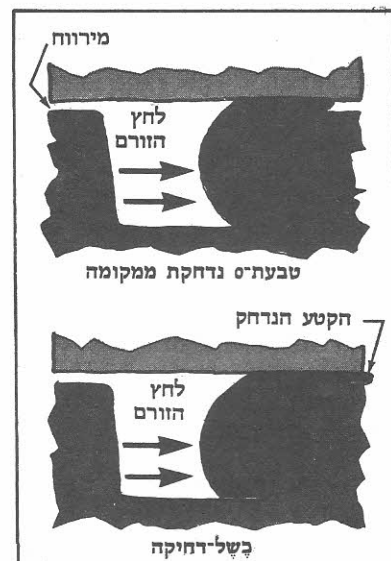
תופעת הגרר עקב חיכוך בשטח המגע הדינמי שבין האטם לבין החלק הנע נוטה לגלגל את האטם בתוך החריץ. כוחות הגרר אינם אחידים בהיקף האטם בגלל עמיסה בלתי מאוזנת, שינויים בפני השטח וכו'. כוחות הגרר הבלתי-מאוזנים מפחילים את האטם וגורמים לדליפה, וכאשר שיעורם גבוה דיו — עלול להתרחש פְּשָׁל של האטם.

ההתנגדות לפיתול היא פונקציה של גורמי תכנון רבים, הכוללים:

- צורת החתך של האטם.
- חומר האטם.
- תנאי העבודה בהיקף חריץ האטם.
- האחוז משטח החריץ שתופס האטם.
- מהלך ארוך של הבוכנה ומהירויות תפעול איטיות עלולים אף הם לגרום לפיתול האטם.

סיווג אטמים דינמיים

על אף שכל האטמים משנים במקצת את צורתם המקורית בעת התקנתם, ניתן לסווגם בדרך כלל בהתאם לחשיבותה של



ציור 4 — דחיקת אטם ממושבו שנגרמה על ידי נוזל בלחץ.

יכולה לכרסם חתיכות מהאטם, והדבר יסתיים שוב בדליפה ובפְּשָׁל האטם.

אפשר למנוע בעיה זו על ידי בקרה קפדנית של גודל המירוח, אולם, העלות הגבוהה הכרוכה בשמירת קבולות-עיבוד מדויקות במהלך היצור גורמת לכך שפתרון זה אינו קוסם מבחינה כלכלית. בנוסף לכך, רוחב המירוח מושפע על ידי משתנים רבים אחרים שמקצתם אינם ניתנים לחיזוי בעת התכנון. ואלה הם:

— עומס-יצד שיכולים להסיט את כל המירוח הקוטרי לצד אחד של האטם — התפשטות תרמית.

— שינויים מימדיים הנובעים משינויים בלחץ הפנימי.

— עיוות הצילינדר בגלל הרכבה ותמיכה לא מתאימות.

— שינויים בטיב פני-השטח.

— נחשולי לחץ.

— בלאי לא-רגיל.

— הצטברות של קבולות-ייצור.

במקום לנסות למנוע את כל הסיבות האפשריות הגורמות לפְּשָׁל כתוצאה מדחיקת אטם ממושבו, על-ידי תכנון מידות, יהיה זה פשוט יותר להוסיף לאטם טבעת-תמיכה (ראה ציור 5) המותקנת באותו חריץ, והמפרידה את האטם מאזור המירוח. השימוש בטבעות-תמיכה או באמצעים אחרים המונעים דחיקת האטם ממושבו מאפשר להגדיל את קבולות המירוח בעת היצור ועל-ידי כך ניתן להאריך את חיי האטם. מקצתם של האמצעים המונעים דחיקת האטם מיוצרים מחומרים הסוגרים

אטם אונות — לצורת אטם זו שני משטחי אטימה דינמיים ויציבות טובה. האטם יעיל בלחצים נמוכים.

אטמי-שפה

אטמים מופעלי-לחץ או אטמי-שפה משנים במקצת את צורתם במהלך התקנתם (ראה ציור 8) ויוצרים אטימה של לחץ נמוך על ידי קביעתם הדחוקה בחריץ. כאשר לחץ הידרולי מופעל

עלות, התקנה, יציבות, לחץ ובליה. חומר-האטם הוא גורם נוסף שנודעת לו חשיבות רבה בשיקולים הללו. אחדות מן הצורות השכיחות יותר של אטמי-מעכה מתוארות בציור 7; הן כוללות:

טבעת-0 — אטם זה פשוט ושימושי ביותר, מחירו זול והוא קל להתקנה. אטימותו טובה למדי אולם שיעור בלייתו גבוה. אם טבעת-0 אינה מותקנת כהלכה, החתך העגול שלה יהיה נתון לפיתול ולסכנת קְשָׁל-ספירלי.

טבעת D — המשטח הדינמי של הטבעת הזו מקביל בכושר אטימותו לזה של טבעת-0 והמשטחי הסטטי השטוח שלה עמיד בפני פיתול. טבעות מונעות דחיקה כאלה הכרחיות במקומות שבהם מופעלים לחצים גבוהים. לצורך התקנתן הן זקוקות לחריץ רחב רחב יותר.

טבעות ריבועיות או מלבניות — צורת החתך העבה והגדולה הזו מצטיינת ביציבות מעולה ועמידה בפני פיתול, אך שטח החיכוך הגדול מגביל את שימושה הדינמי. קבולות התושבת קריטיות יותר בצורת האטם הזו. שיטות יצור שונות משפיעות על התכונות הפיסיות של האטם.

אטם T — תחת לחץ הנוזל, האטם עצמו דוחק את טבעות-התמיכה הצפות שלו מצד אחד של המירווח למשנהו כדי למנוע את דחיקתו. צורת האטם עמידה בפני פיתול ושטח המגע הדינמי הקטן אוטם היטב. תצורת אטם זו עמידה בלחצים גבוהים מאוד.

אטמים מופעלי-לחץ או אטמי-שפה — תלויים בעיקר בלחץ השורר במערכת כדי לשנות את צורתם ולהגיע לאטימה מקסימלית. שינוי הצורה הראשוני, עקב הלחיצה בעת ההתקנה, מתאים רק לאטימה של לחץ נמוך.

אטמי מעכה — בדרך כלל, אטמים טוב יותר בלחץ נמוך, אולם מתבלים מהר יותר. מידת הבליה של אטמי-שפה קטנה יותר בגלל ההפיכה החלקית המתרחשת בעת תנועות בלחץ נמוך.

אטמים דינמיים מסוגים גם כפנימיים או חיצוניים. אטמי-בוכנה הם פנימיים משום שהם חשופים בשני צידיהם לתווך שאותו נועדו לאטום. אטמי מוט-בוכנה הם חיצוניים משום שצידיהם האחד חשוף לאטמוספירה.

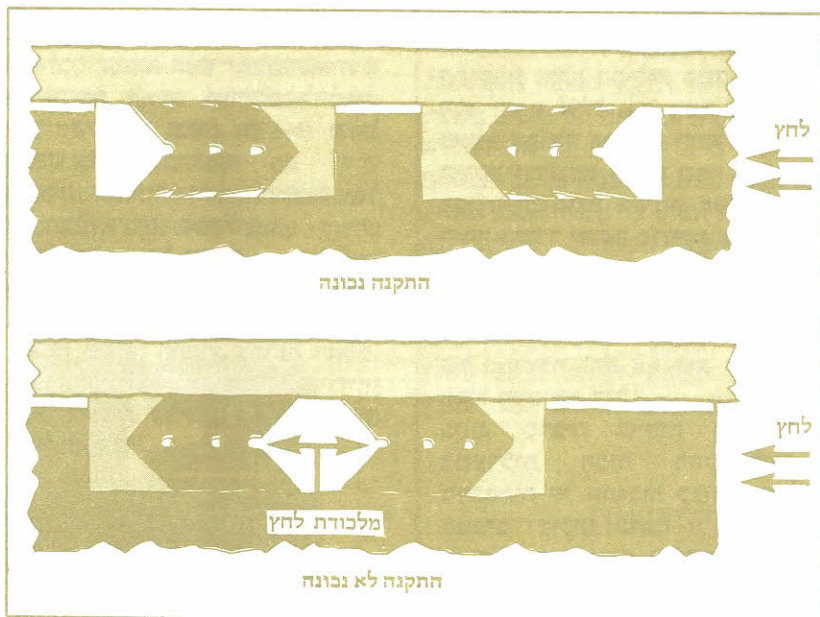
תפקיד האטם הוא עוד קריטריון לטיוב אטמים. אטם חד-כיווני אוטם לחץ זורם בכיוון אחד בלבד; אטם דו-כיווני אוטם בשני כיוונים. אטמי-מוט חייבים להיות רק חד-כיוונים ואילו אטמי-בוכנה צריכים להיות דו-כיווניים, או ששני אטמים חד-כיווניים צריכים להיות מותקנים כווג. במקרה זה, יש להזהר שלא תיווצר מלכודת-לחץ בין זוג אטמים (ראה ציור 6).

אטמי מעכה

אטמים דינמיים "מופעלים" על-ידי לחיצה מיוצרים בתצורות רבות כדי שיוכלו להתאים לנחונים שונים של



ציור 7 — צורות אופייניות של אטמי-מעכה.



ציור 6 — התקנה לא נכונה של שתי קבוצות אטמים חד-כיווניים עלולה ליצור מלכודת-לחץ.



"הידראוליקה"

מכשירים הידראוליים ומוצרי אטימה
ת"א קבוץ גלויות 73, גבעת הרצל (בנין התעשייה)

טל 823564 - 821638

מערכות הידרוסטטיות

מערכות הגה

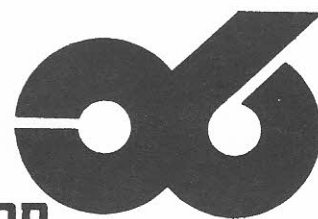
משאבות

בזרחים

אביזרים הידראוליים שונים

אטמי שמן מכל הסוגים

ייצור, תקון, יבוא, מכירה



טכנו כלל

חברה להספקה
תעשייתית בע"מ

יבוא • שווק • יצוא

מכונות וכלים לעבוד מתכת

- חריטה
- כרסום C.N.C.
- השחזה
- עבוד פח
- בקרה ספרתית PHILIPS
- ציוד מדידה
- כלי חיתוך
- חמרי גלם
- ציוד לניסור מתכות

נמנית על קבוצת כלל



רח' סלמה 166, ת"א טל. 8-336947 (03)
03-335507

ת.ד. 35107, טלקס 03-35400

היום יותר מתמיד
כדאי לשלם
קצת יותר עבור
מצבר גולד
ששווה
הרבה יותר



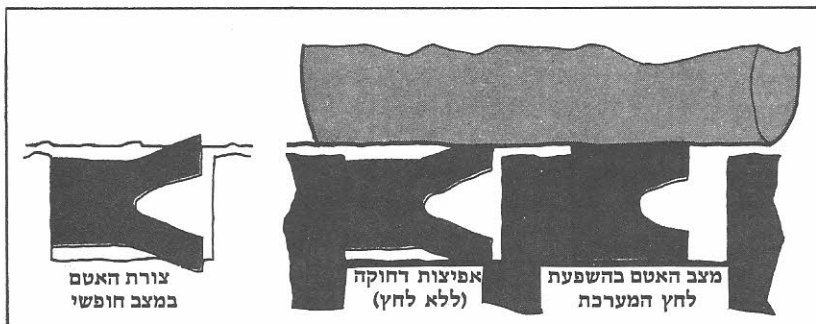
מצבר סגור
ללא טיפול

ללא
הוספת מים
ללא קורוזיה

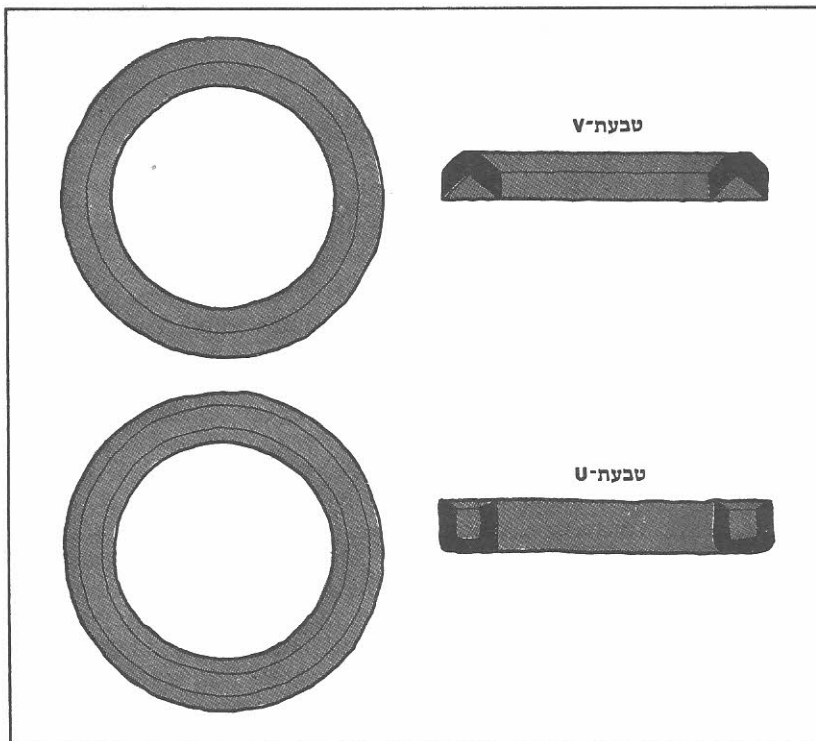
לאחר 34 חודשי עבודה
ללא בעיות תחזוקה

חיפה והצפון: גולדור, המגנים 100, טל. 533293-04
באר שבע: חשמל לרכב "שאל" איזור התעשייה, כביש חברון, טל. 35111-057
ירושלים: גוטמן דוד, איזור התעשייה תלפיות, טל. 781818-02

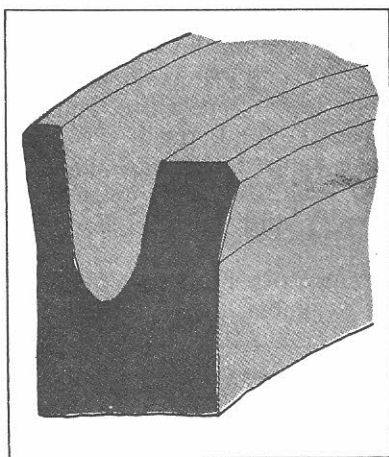
סוכנים לישראל:
אחים פולק
סוכנויות יבוא
תל אביב, רח' לינקולן 19, טל. 03-284-76
בע"מ



ציור 8 — הפעלת אטם-שפה: אפיצות רחוקה אוטמת בלחץ נמוך, ועיוות האטם אוטם בלחץ גבוה.



ציור 9 — שטח-חתך של אטם-שפה סימטריים אופייניים.



ציור 10 — חתך באטם-מוט אי-סימטרי

ואום מהדקת דיסקית נגדית כנגד הגביע, כדי ליצור אטימה סטטית על משטח הבוכנה. במהלך ההרכבה, שפת האטימה נדחסת כנגד פנים הצילינדר ונוצרת אטימה ללחץ נמוך. לאחר מכן, לחץ המערכת דוחק את השפה כלפי חוץ, וכך מושגת אטימה דינמית ללחץ גבוה. חשוב לשלוט על כוח ההידוק של הדיסקית הנגדית. מעיכה מופרזת עלולה לעוות את עקב האטם ולהרחיק את השפה ממגע עם פנים הצילינדר. ניתן למנוע את העיוות, למשל, על-ידי התקנת דיסקית חיזוק מפליז בתוך הקטע השטוח של הגביע.

גביעי-הבוכנות הם חד-כיווניים, ולפיכך, כשיש לאטום בוכנות המבצעות פעולה

בכיוון הקצוות הפתוחים מתחולל שינוי צורה נרחב יותר ונוצרת אטימה של לחץ גבוה.

אטם-שפה טהורים הם חד-כיווניים. לחץ המערכת, המופעל כנגד עקב-האטם, מרחיק את הקצוות משטחי המגע שלהם ומאפשר ללחץ הזורם לפעול דרכם. רבים מאטם-השפה מזהים לפי צורת החתך הרגילה שלהם (ראה ציור 9), כגון טבעות V או טבעות U. אולם, במקרים רבים, קטע-העקב של האטם עבה יותר לצורך הגדלת יציבותו וצורת השפה מעוצבת מחדש כדי לספק דרישות תיפעול אחרות, ואז ההבדלים החזותיים בין צורות החתך השונות מיטשטשים. לכאן טובים יותר השמות המסחריים השונים שהוצמדו לכל עיצוב מיוחד.

אטמים סימטריים או אי-סימטריים

אפשר לסווג את האטמים שבציור 9 גם כסימטריים משום שצורתם זהה בשני צידי קו-הציר של החתך. טבעות-0, טבעות ריבועיות ומלבניות וטבעות-אונות הן דוגמאות אופייניות של אטם-מעיכה סימטריים. אילו גודלי החריצים היו שווים, אפשר היה להשתמש באותו אטם גם כאטם-בוכנה וגם כאטם-מוט. אפשרות השימוש הרבת-כליתי הזה עשויה לפתור בעיית-מצאי ליצרני הציוד.

צורות רבות של אטמים הן אי-סימטריות ומוגבלות לשימוש כאטם-בוכנה בלבד או כאטם-מוט בלבד. טבעות-D או טבעות-T (ציור 7) הן אטם-מעיכה אי-סימטריים. אטמים אי-סימטריים הם, בדרך כלל, בעלי צורה אחת באיזור המגע הסטטי ובעלי צורה שונה באיזור המגע הדינמי. אטם-מוט אי-סימטרי מסוג טבעת-U לצילינדרים הידרוליים (ציור 10) הוא בעל שפה קצרה וקשיחה לאטימת הצד הדינמי ובעל שפה ארוכה וגמישה לאטימת הצד הסטטי.

גביעי-בוכנות

גביעי-הבוכנה (ראה ציור 11) הוא אטם חסכוני בשביל צילינדרים בעלי פיזור רחב של קבולות לקוטר הפנימי. אטם גביעי-הבוכנה אינו מורכב בתוך חריץ, אלא על פני הבוכנה. בדרך כלל, עובר בורג-חף מבעד לחור המרכזי בגביע,

סולתם בע"מ מוצרי איכות



יצרנית

נשק

התמישה

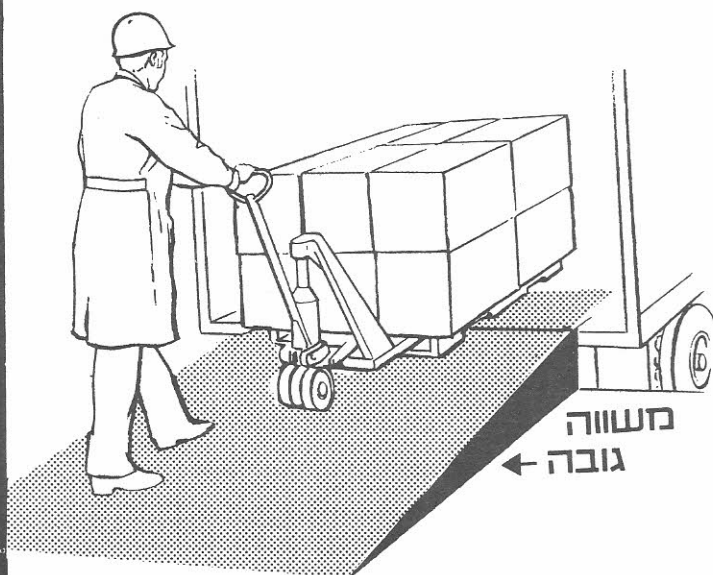
סירי ווריסטה

מורדל בע"מ

מוצרי איכות



משווה גובה-החסכון שלך באנרגיה ובכח אדם!

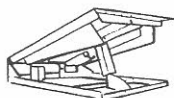


משווה גובה להעמסה ולפריקה של משאיות ומכולות, במהירות, ביעילות ובבטיחות.

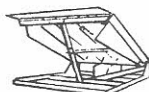
משווה גובה מיוצר בשלושה דגמים:

- משווה גובה הידראולי - שפעולתו חלקה והוא מופעל ע"י בקרה חשמלית מרחוק.
- משווה גובה מכני - המופעל על-ידי מערכת קפיצים ללא צורך בחיבור חשמלי.
- דגם מיני - האח הקטן במשפחה, המיועד להפרשי גבהים שאינם עולים על 120 מ"מ.

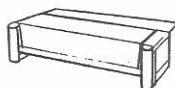
אנו מספקים ייעוץ הנדסי חינם!



משווה גובה מכני



משווה גובה הידראולי



דגם מיני

BLUE GIANT

פזגל

מוצרי תעשייה בע"מ
רחוב דבובינסקי 100
ת.ד. 3356

פתח תקוה 49130
טלפון: 03-924 961

כפולה יש להרכיב את שני הגביעים גב אל גב.

אטמי-שפה מגובבים

במערכות ההידרוליות מסוימות הפועלות בלחץ גבוה, מותקנים אטמי-שפה מגובבים (ראה ציור 12). על מנת למקם כהלכה את שפות האטימה, מתקנים, בדרך כלל בקצות מערכת האטמים, מתאמים — זכר ונקבה.

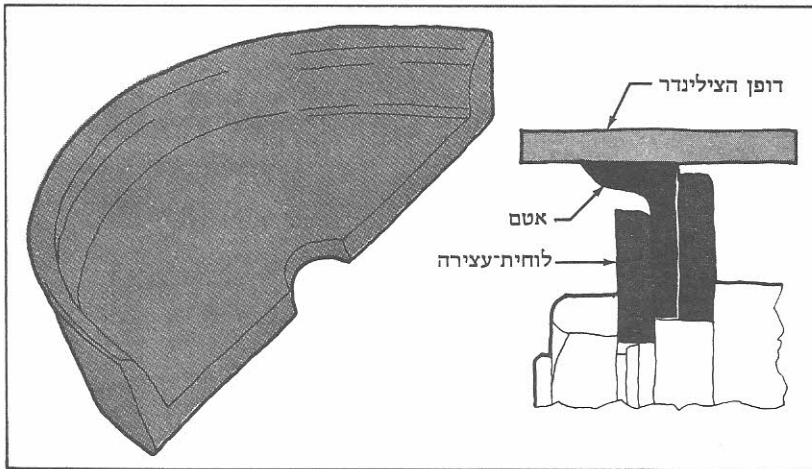
גם כאן יש להדגיש, כי סיכה היא המפתח לאורך-החיים של האטמים. במהלך הפעולה, חייבת להתקיים דליפה מבוקרת מבעד לכל אטם על מנת לסוך את האטם הבא במערכת המגובבת.

למרות שברבים מן הצילינדרים ההידרוליים החדשים אין סידורים לכיוון מכני של האורך הצידי של תושבת האטם, מצויים דגמים אחדים שתוכננו עם תושבות מתכוונות כדי להקנות עומס מוקדם לאטמים. התושבות המתכוונות הללו זקוקות לאטם בעל גמישות צירית. בעיה אפשרית בשימוש עם אטמים כאלה היא הידוק-יתר. אם האטמים נמצאים בהידוק-יתר כנגד חלק הנע בתנועה קווית, הרי שהשפה הראשונה תייבש את כל חומר-הסיכה והשפות הנותרות ימשיכו לפעול כשהן יבשות. התוצאה תהיה חיכוך גבוה ובליה מהירה. למערכות מסוימות של אטמים מגובבים חסרי גמישות צירית מקנים עומס מוקדם באמצעות קפיצים או דסקיות גליות הנמצאים מתחת למתאם זכרי. אם טבעות האטימה פתוחות, כדי להקל על ההתקנה, חשוב מאוד לפזר את הפתחים בהיקף התושבת ובכך למנוע היווצרות נתיב-דליפה.

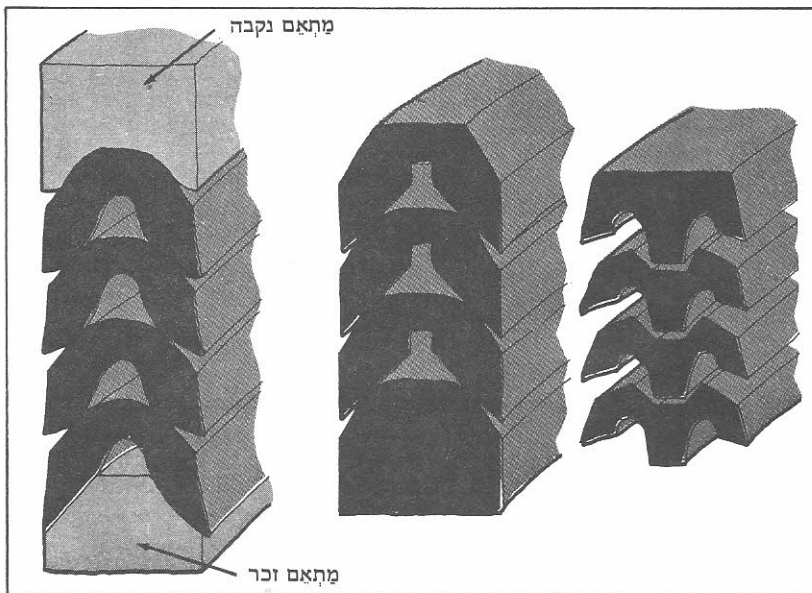
טבעות-בוכנה

לשימושים בטמפרטורות גבוהות, או להשגת אורך-חיים מקסימלי של האטם כאשר ניתן להרשות דליפה מסוימת, אפשר להשתמש בטבעות בוכנה מתכניות (כנהוג במנועי שריפה פנימית) בשביל צילינדר-יכוח ההידרוליים. הטבעות הללו, בדרך כלל, הן בעלות חיתוך מדרגה (ראה ציור 13) המאפשר להתקין בחריץ-הבוכנה, אך הן עשויות להיות גם מסוג טבעות השיפוף הגמישות, כדי ליצור אטימה סטטית.

טבעות-בוכנה סינטטיות מסוימות מחליקות למעשה על המשטח הפנימי של



ציור 11 — אטם גביע-בוכנה אופייני



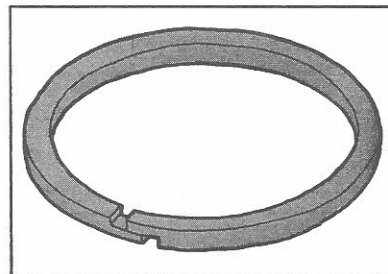
ציור 12 — אטמי-שפה מגובבים

הצילינדר ותורמות להפחתת החיכוך ולשיפור הביצועים במצב של היעדר סיכה.

אטמים מורכבים

נוסף על הצורות השונות של אטמים בעלי מבנה הומוגני, שהם תוצר של פשרה בין החיכוך הנמוך של אטמי-שפה מובהקים ובין כושר האטימה בלחץ נמוך של אטמי-מעטה מובהקים, ישנם גם אטמים מיוחדים מיוחדים שבהם שולבו כמה אלמנטים כדי לענות על מיגוון צורכי-תפעול או דרישות-הרכבה. להלן כמה דוגמאות (ראה ציור 14)

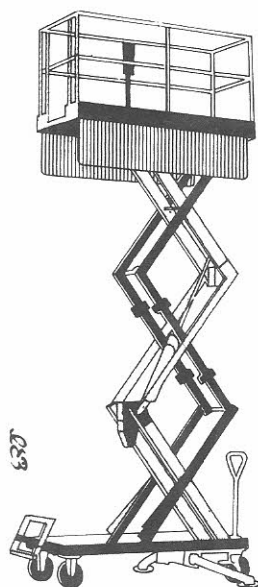
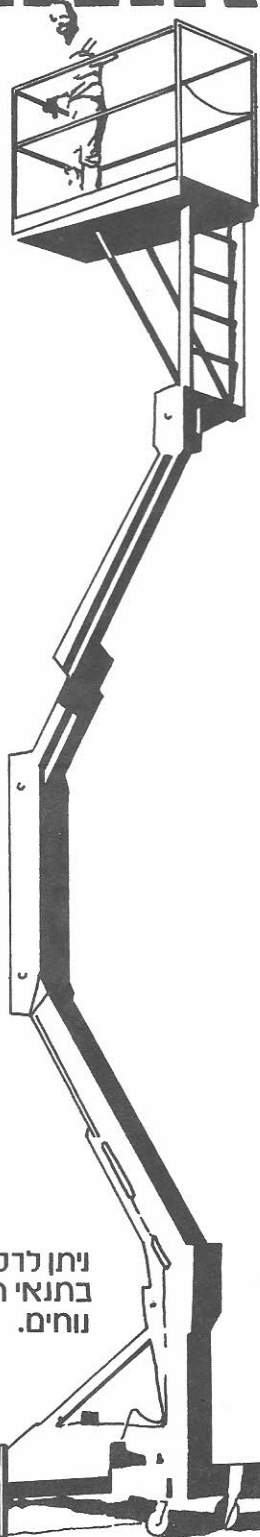
— אטמים קפיציים — מכילים קפיצים עמידים בקורוזיה המקנים עומס מוקדם לשפות-האטימה ומאפשרים בכך להשיג אטימה יעילה יותר בלחץ נמוך.



ציור 13 — טבעת-בוכנה בעלת חיתוך-מדרגה נפתחת לצורך התקנה. הטבעת אוטמת תחת לחץ

— שילוב צורות של אטמי-שפה ואטמי-מעטה — אטמי-מעטה גמישים היצוקים בתוך אטמי-השפה מקנים עומס מוקדם לשפות האטימה וכושרם להעביר ביעילות כוחות לחץ מאפשר להשיג אטימה ללחץ גבוה. אטם-מעטה בשילוב

**אתנו תגיע
גבוה
גבוה
גבוה**



ניתן לרכוש
בתנאי תשלום
נוחים.

אמיר

חברה להנדסה ומסחר בע"מ

רח' ויצמן 6 א' גבעתיים, 53101 ת.ד. 175
טל. 03-730895, 03-737441

אנו מרים הכב

מולינדן די-סולפיז

SPANJAARD

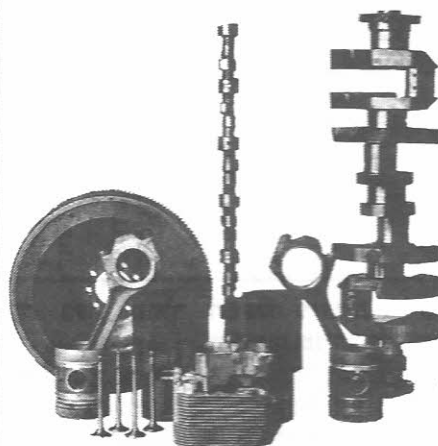
שמני סיכה מיוחדים

לתנועה קלה יותר

בתעשיה ובמוסכים

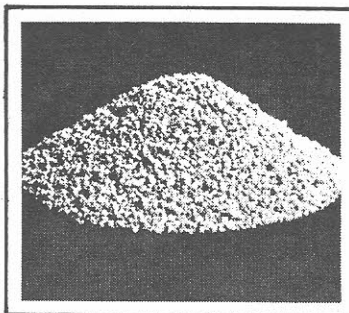
לשמוש ב:

מנועים
תמסורות
מיסבים
שרשראות



במקרים של:

עומס גבוה, חיכוך
סמפ" גבוהה
קורוזיה, ואקום, חימצון,
רטיבות וכימיכלים



סול ספידי דריי

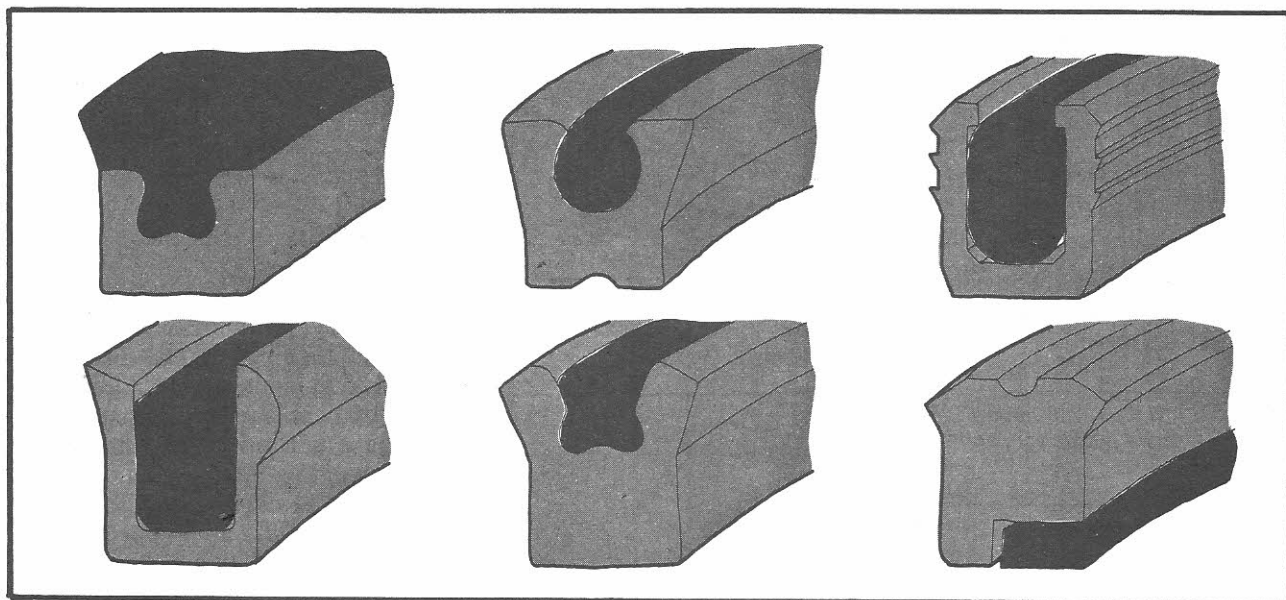
חומר סופג מינרלי לבטיחות בעבודה

מגן על הרצפה, מונע החלקה, חסין אש,

מקטין את הזמן וההוצאות הנדרשים לתחזוקה.

יבואנים ומפיצים בלעדיים: אינטר שווק,

רח' מונטיפיורי 42 תל-אביב 65201. טל' 284153, 294320



ציור 14 — אטמים מורכבים

— אטמים שבהם יצוקים התקנים המונעים דחיקת האטם — השילוב הזה נועד להקל על הרכבה נכונה ולצמצם את מצאי החלקים.

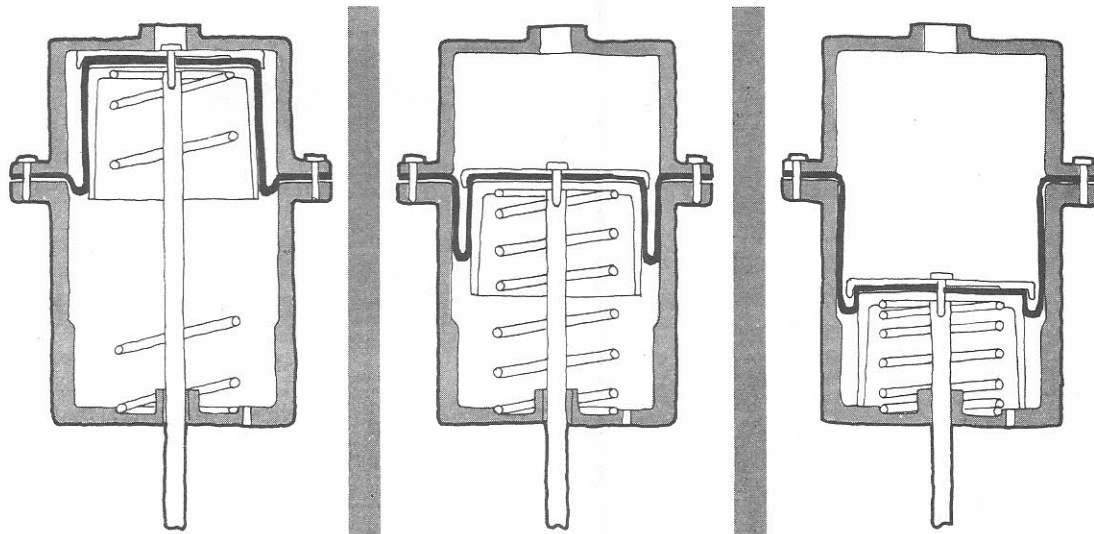
זה מונע כל נטיה של חומר האטם לאבד מגמישותו במרוצת הזמן, עקב טמפרטורה גבוהה וחשיפה לזורם.

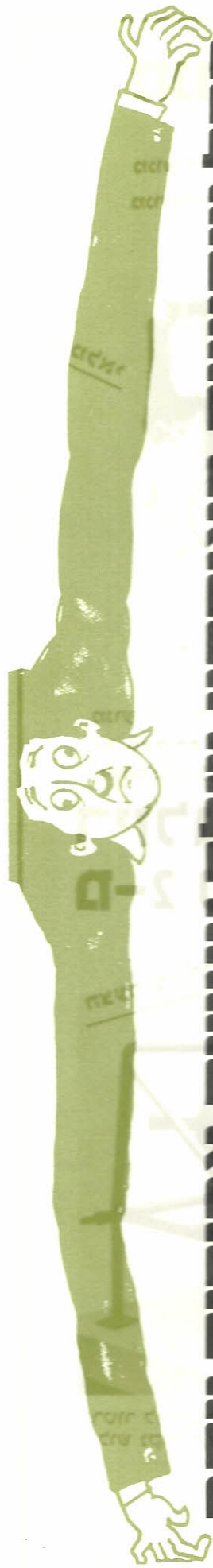
השפעה מזערית על בליית הדיאפרגמה, והבוכנה מגיבה במהירות רבה על שינויי הלחץ. כדי להשיג ביצועים אופטימליים, יש להגביל את מהלך הבוכנה לכפליים קוטר הקרח ולעבוד בלחצים נמוכים מ-500 פ' לאינץ"ר (כ-35 אטמ'). כן נחוצה תמיכה מתאימה להובלת המוט ויש להימנע מטמפרטורות-זורם הגבוהות מ-550 מעלות פרטנהייט (כ-280 מעלות צלסיוס).

לאורך דופן הצילינדר בעת מהלך הבוכנה. בעת פעולה, הדיאפרגמה אוטמת לחלוטין את המעבר מצד מסכה הצילינדר לצד המוט, והבוכנה בתנועתה אינה פורצת את האטימה הזו. הבלאי והחיכוך הדינמי וניחים והאטם אינו זקוק כלל לסיכה. כיוון שאין שום חיכוך-החלקה — הרי שלטיב פני-השטח של קרח הצילינדר ולחלקיקי הזיהום בזורם

דיאפרגמת גלילה

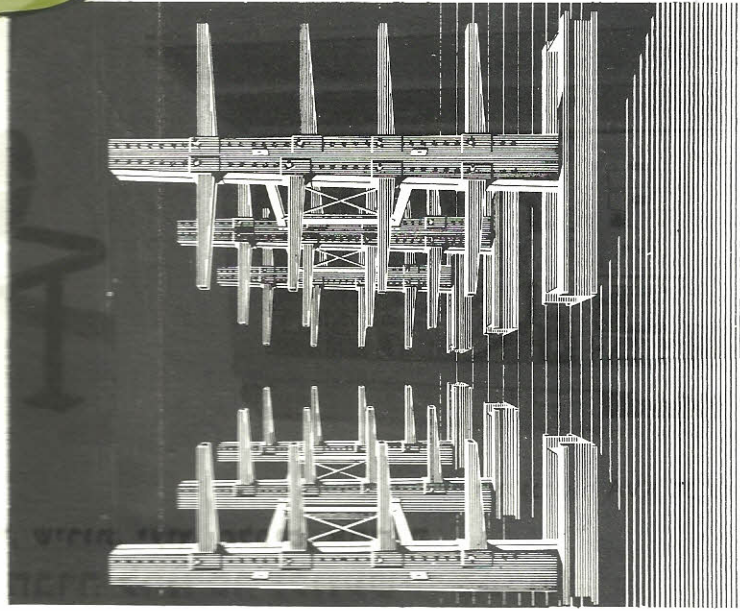
דיאפרגמת הגלילה היא כנראה האטם הדינמי היחיד שאינו דולף כלל. צורתה דומה למגבעת קונית. שפת הדיאפרגמה מתחברת אל דופן הצילינדר, וראש הדיאפרגמה מחובר אל הבוכנה. מרווח-הבוכנה צריך להיות גדול דיו כדי שהדיאפרגמה תוכל להיגלל ולהיפרש





ככל שבכעניות האחסון שלך נענשות ארוכות יותר...

אתה זקוק יותר ל"קנטייליבר"...



עליל עכשיו
תל אביב טל' 03-776011/2
חיפה טל' 04-717840

כיום ניתן להשיג גם בישראל מערכת קנטייליבר אמינה המיוצרת ע"י הסכם ידע בלעדי עם חברת הענק האמריקאית

PALMER SHILE

שימוש: מערכת קנטייליבר של מידומית מיועדת לאחסון צינורות, קורות, לוחות מתכת, משטחי עץ ופורמייקה ושאר פריטים שאורכם רב.

הרכבה: ההרכבה והפירוק קלים ומהירים. המפלסים ניתנים לשינוי מידי לפי צרכיך, וניצול שטח האחסון על כל מפלס הינו מקסימאלי.

תכונות: ניתן להעמיס עד 100 טון לכל עמוד 35 ר"טון לכל זרוע - הרבה מעבר למקובל בכל מערכת אחרת בישראל.

המחיר הכולל:

1. ביצוע תכנית מפורטת על ידי מומחי מידומית לניצולת מכסימלית של שטח ההחסנה שלך.
2. ייעוץ לגבי שיטות יעילות לניהול ורישום מלאי בעסקך
3. שרות מהיר ויעיל בנוסח אמריקה.

מערכות אחסנה נוספות של "מידומית": אקרומית 88 - עד 5 טון על כל משטח. אקרומל - עד 350 ק"ג על כל משטח. סופאסלוט - עד 100 ק"ג על כל משטח.

שרות עצמי - לתצוגת מוצרים.



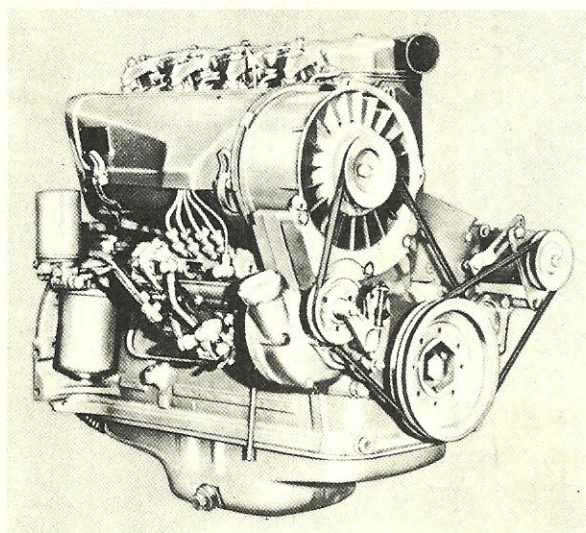
בני ברק: רח מתתיהו 8

אין פחות מדי מקום, רק פחות מדי מידומית.

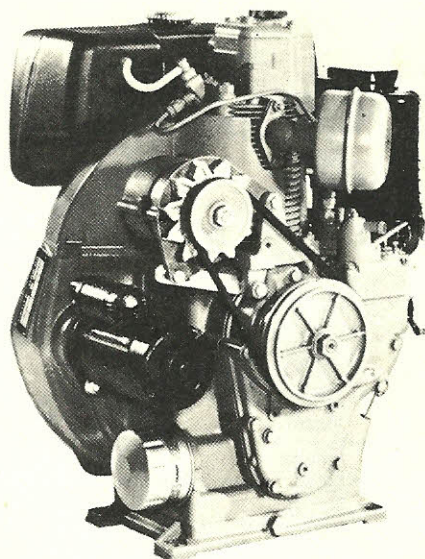


מנועי-דיזל "דויטץ"

מנועי דיזל מקוררי-אוויר מ-3 — 525 כ"ס
מנועי דיזל מקוררי-מים מ-400 — 10,000 כ"ס



מנועי דיזל מדגם F2—F6L912
מקוררי אוויר בהספקים מ 21 כ"ס עד 120 כ"ס



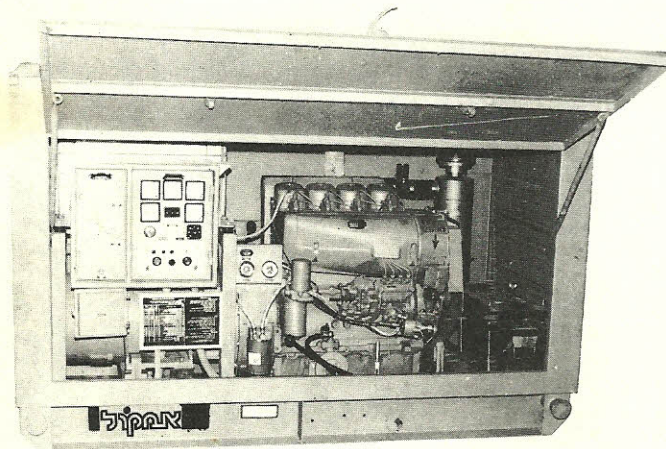
מהמלאי

מנוע-דיזל חד-צילינדר מקוררי-אוויר
עם משקולת איזון פנימית לדיכוי רעידות
הספק: 3 — 15 כ"ס, 1,500 — 3,600 סל"ד



דיזלגנרטורים ואלטרנטורים מ-2 עד 8000 KVA

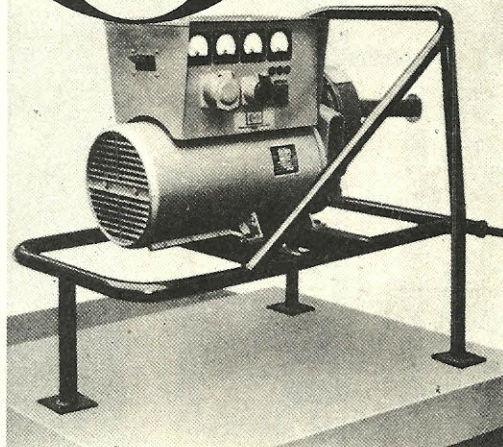
A. van Kaick



דיזלגנרטור 30 KVA עם חופה



הצעה מיוחדת



גנרטור להרכבה ל-P.T.O.
ושלוש נקודות בטרקטור

מלאי, שירות, יעוץ, חלפים, אחריות

"אמקול" חברה להנדסה ולתעשייה בע"מ

תל-אביב שד' רוטשילד 7, טל. 651511, ת.ד. 1191