

חומרים לשריון

ד"ר ח' פרוז

וכובע נחשת על ראשו ושריון קשקשים הוא לבוש ומשקל השריון חמשת אלפים שקלים נחשת ומצחנת נחשת על רגליו" (שמואל א' י"ז ה')

בפגעים בפנייה השטה הקשים של השריון — דבר שהקטין את כושר החדירה. פיתוח קלעים בעלי חוד קהה ומצויידים בכיפת-חדירה שם קץ ליתרונו של השריון המוקשה על פני השטח, והשימוש בו לבניית טנקים הפסק. שריון מעורגל מיוצר בצורת לוחות, עלידי ערגול בחום של מטילי-פלדה גדולים. תכונותיו המכניות והבליסטיות טובות במקצת מאלה של שריון יצוק, ביהוד כשהמדובר בלוחות דקים (עד 40 מ"מ). לשריון יצוק, לעומת זאת, יתרון נוח חשובים, כגון האפשרות ליצור בו דפנות בעלות עקמומיות, עובי ושיפוע משתנים וכן אי הצורך בפעולות חיתוך וריתוך. צריחייהם של מרבית הטנקים המודרניים בנויים משריון יצוק. התובות עשויות בדרך כלל מלוחות מרות-כיס של שריון מעורגל, אף כי במקרים מסויי-מים, כגון בטנק האמריקני "M-48" יוצקו כחלק אחד (ציורים 1, 2).

תכולת הפחמן בפלדות שריון היא בגבולות 0.2% עד 0.4%. התכולה הגבוהה יותר מסייעת להשגת קשיות גבוהה יותר, ואילו התכולה הנמוכה יותר — יעילה למניעת סדקי ריתוך. מרכיבים נוספים בנתך הם ניקל, כרום, מוליבדן, סיליקון, מנגן ואחרים. סוגי התוספות וכמותן יהיסית בנתך נקבעים בהתחשב בתכונות המכניות הרצויות. לשריון דק (20 מ"מ) משתדלים להשיג חוזק גבוה; לגבי שריון עבה (200 מ"מ) חשוב יותר להעלות את יכולתו לספוג אנרגיה. הרכב הנתך נקבע גם בהתאם לשיטת החיסום הנהוגה (במים, בשמן או באויר). יצרנים מסויימים מוסיפים כמות קטנה של ונדיום, למניעת סדקי קים בעת החיסום. האמריקנים נוהגים להוסיף ברזל.

במשך העשור האחרון הושקע מאמץ במעבדות שונות למחקר שימושי לשם פיתוח פלדות לתפקידים מיוחדים, וביניהן פלדות בעלות חוזק כניעה (yield strength) גדול מ-70 ק"ג לממ"ר, ועם זאת בעלות כושר מצויין של ספיגת אנרגיה והתאמה לריתוך. לפני שנים אחדות פותחה פלדת-שריון בעלת חוזק כניעה של 100 ק"ג לממ"ר, בעוביים עד 4 אינץ'. כן נמשך פיתוח שמטרתו ייצור פלדת שריון בעלת חוזק כניעה של 140 ק"ג לממ"ר.

כושר ההגנה של סוג שריון נתון תלוי בעובי השריון ובזווית נטייתו כלפי כיוון הפגיעה. עובי השריון נקבע על-ידי מתכני הטנק, בהתאם למידת החשיבות שמיחסיים לתוספת כושר הגנה. השקפה קיצונית אחת היא זו הבריטית,

חיל-הרגלים, אשר אבדותיו היו כבדות יותר מבכל חיל אחר, זקוק לשריון אישי. מאות דגמים הוגשו להערכה ולניסוי, או-לם כל עוד נעשה שימוש במתכות, היה השריון כבד מדי וחסר גמישות. לקראת מלחמת-העולם השנייה חל מפנה חשוב ב-תיכון השריון האישי, עם תחילת השימוש בחומרים פלסטיים קלי-משקל. במלחמת קוריאה השתמשו חיילי צבא ארה"ב בא-פודות-שריון תפורות משכבות ניילון, או שכבות בד עשוי סיבי-זכוכית שהוספגו בשרף פלסטי. אפודה זו מנעה חדירת רסיסים מכל הסוגים, אולם לא היתה יעילה נגד קליעים מנשק קל. בשנים האחרונות פותח שריון מרוכב (composite armour) היעיל נגד קליעים מנשק קל, והמאפשר חיסכון רב במשקל, כפי שיוסבר להלן.

שריון טנקים

שתי התכונות העיקריות שבהן חייב להת-אפיין חומר שריון הן: אנרגיית-שבר גבוהה (toughness), המתבטאת, במקרה הנדון, ביכולת לספוג מבלי להיטדק את האנרגיה של קליעים כבדים בעלי מהירות גבוהה, וקשיות גבוהה (hardness), המתבטאת בהתנגדות לחדירת קליעים. התכונות הנוספות הן: משקל ונפח קטנים, חוזק מבני, התאמה לייצור הצורות הנדרשות, וכן מחיר סביר של החומר הגלמי והר-צאות הייצור.

מן החומרים הידועים בימינו, המתאימה ביותר לשריון טנקים מבחינת מרבית התכונות הנזכרות היא פלדה מסוגסגת שעברה טיפול תרמי. חסרונותיה הן: משקל גדול ויעילות נמוכה נגד תחמושת בעלת מטען חלול.

קיימים שני סוגים של שריון פלדה: שריון הומוגני ושריון מוקשה על פני השטח. השריון ההומוגני נחלק לשני מינים — שריון מעורגל ושריון יצוק. לשריון ההומוגני הרכב כימי אחיד ותכונות מכניות אחידות לכל עוביו. שריון מוקשה על פני השטח מתקבל לאחר טיפול מיוחד, שבעקבותיו נוצרת בו שכבה עליונה קשה, בעלת התנגדות גבוהה לחדירה. שריון זה היה יעיל כנגד הסוגים המוקדמים של קל-עים חודרי שריון, שכן חודיהם היו מתרסקים

מבוא *

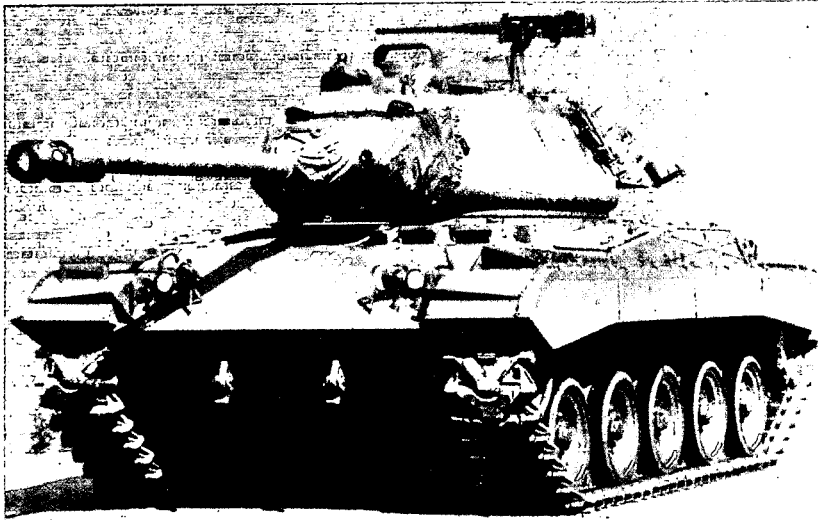
תולדות השריון ראשיתן סמוכה כנראה להמצאת הנשק; התפתחותם של שני אלה, הנשק והשריון, במשך הדורות הת-אפיינה בכך, ששכלולו של האחד גרר אחר-ריו את שכלולו של האחר. צורתם היתה תלויה ברמתו התרבותית של העם אותו שימשו, ובחומרים שעמדו לרשותו.

החומרים ששימשו בימי קדם למגן אישי היו עץ, עור, סיבי כותנה ספוגים בדבק, ארד, ובתקופות מאוחרות יותר ברזל ופלדה. השריון המתכתי היה עשוי שרש-רות, טבעות, לוחות, "קשקשים" או לוחות שלמים, בימי הביניים לבשו האבירים שר-יון מלא, מכף רגל עד ראש, שאפשר היה ללבוש רק ברכיבה על סוס, וגם הסוס עצמו היה מוגן על-ידי שריון.

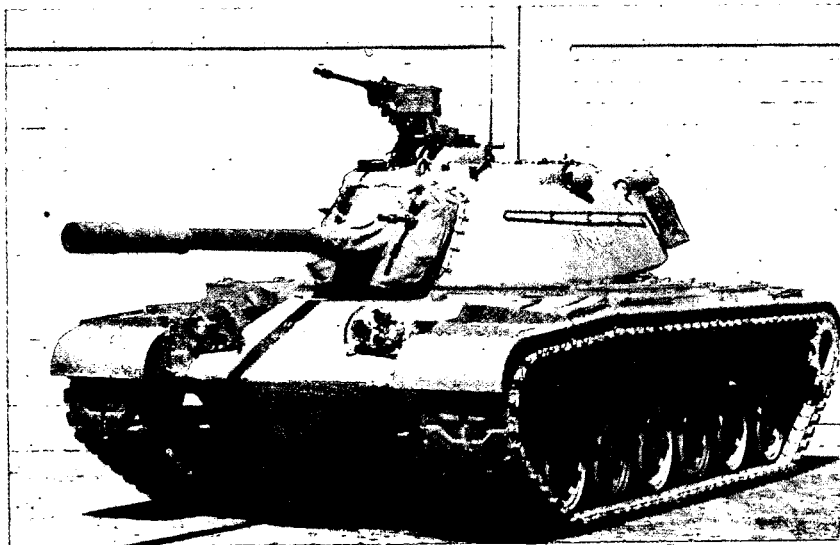
עם הופעת אבק השריפה בארצות אירופה נעלם השריון מזירות-הקרב למשך מאות שנים, שכן משקל השריון הנחוץ להגנה נגד קליעים ארטילריים היה כה כבד שלא ניתן היה לשאתו. באמצע המאה שעברה הוסיפו ציי המעצמות הימיות חגורת שריון לדפנות-העץ של אניות מלחמה. לצורך זה השתמשו בברזל חשיל, ובשלב מאוחר יותר — בפלדה. כדי לשפר את תכונותיה הבליסטיות של הפלדה פותחו פלדות מסוגסגות ונוצרו סוגים שונים של פלדות שריון. בסוף המאה ה-19 צויידו כל תותחי-השדה, להוציא תותחי-הרים, בלר-חות פלדה — לשם הגנה חלקית על הצוות. לקראת ראשית המאה הנוכחית הופיע ב-אירופה ובארה"ב רכב משוריין שיעילותו הוכחה כעבור שנים במלחמת-העולם ה-ראשונה. באותה תקופה הוכנס לשימוש צבאי קובע הפלדה של ימינו, להגנה נגד רסיסי שרפנלים.

בתום מלחמת-העולם הראשונה הובן כי

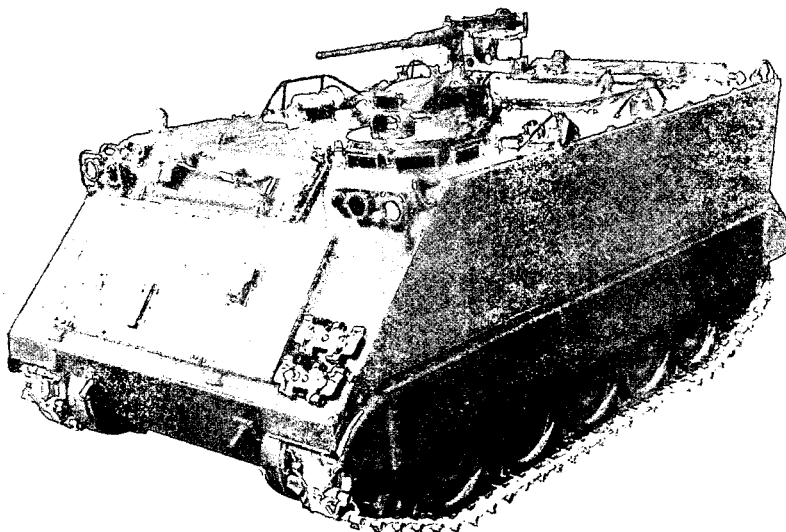
* בגלל תקלות טכניות הודפס מאמר זה רק בחלקו בחוברת הקודמת.



תמונה מס' 1 — טנק M-41 בעל צריח ותובה מרותכים.



תמונה מס' 2 — טנק T-48 בעל צריח ותובה יצוקים.
תמונה מס' 3 — נגמ"ש M-113 בעל שריון מנתך אלומיניום.



הטוענת כי שריון עבה רצוי, ביחוד בעת קרבות שריון בשריון. בהתאם להשקפה זו הוקנה לטנק „ציפטיין“ שריון עבה מבכל טנק מודרני אחר. השקפה קיצונית שניה מיוצגת על-ידי הצרפתיים, אשר הסיקו כי לטנק דרוש שריון דק באופן יחסי, שכן ההבדל בינו לבין השריון העבה ביותר שבגדר האפשר מבחינה מעשית, אינו משפיע במידה רבה על הסיכוי הכללי של הישרדות בשדה הקרב. הטנק „אמק“-30 נבנה על סמך שיקולים אלה, ונהנה מכל היתרונות הנובעים מקלות משקלו.

נראה שעדיין לא הוכנס לשימוש שריון שיהיה יעיל להגנה כנגד תחמושת מטען חלול. המאמר צים למציאת פתרון לבעיה זו נסבו סביב הגדרת עוביו של השריון או תוספת אמצעים להפעלה מוקדמת של המטען החלול לפני פגיעתו בשריון. התברר במהרה, כי אילו היו משתמשים בשריון בעל העובי הדרוש להגנה נגד ראשי מטען חלול גדולים, היו מונעים מן הטנק כל אפשרות תנועה. הוספת מחיצות במרחק מסויים לפני השריון העיקרי, כדי לגרום להפעלה מוקדמת (ולכן בלתי יעילה) של ראשי שים אלה, מובילה להקטנה רבה של הניידות ולהגדלה ניכרת של צלילית הטנק. בשנים האחרונות נמצאות בשלבי-פיתוח מתקדמים מערכות אחדות שבהן משתדלים לזרז הפעלה מוקדמת של מטענים חלולים, על-ידי שימוש בחורי מרים קרמיים.

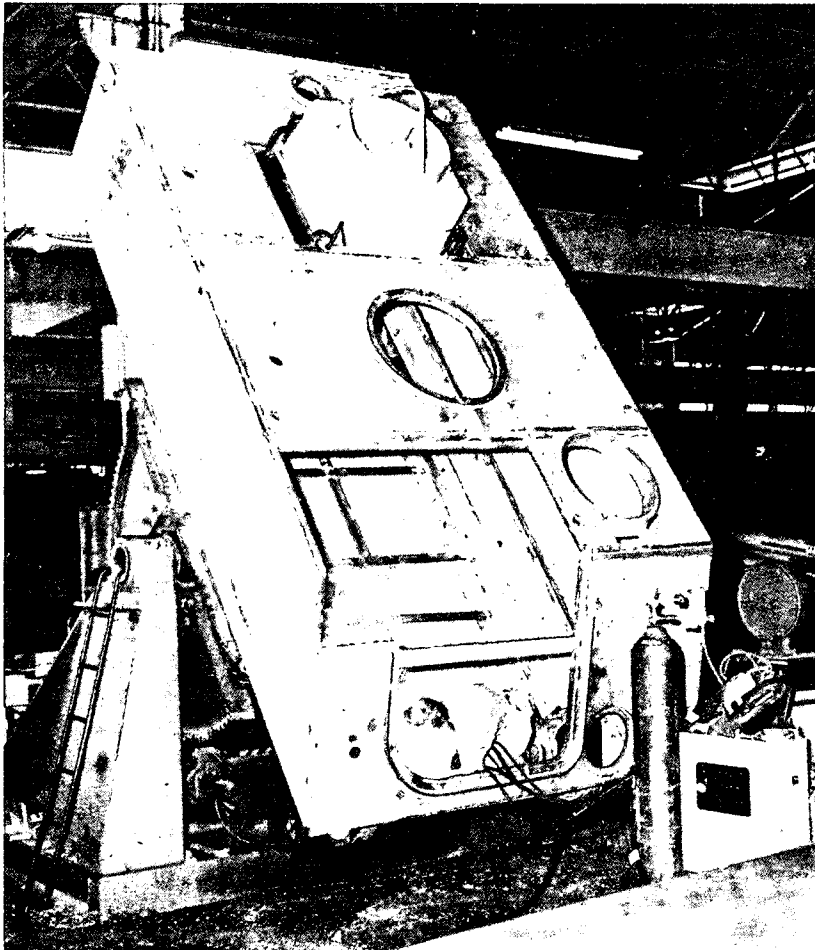
חלופות לשריון פלדה

על-פי ההשקפה הצבאית הרווחת היום, על כלירכב משורינים להיות יבילי-אוויר, דבר המחייב קיצוצים דרסטיים במשקלם. להלן מובא אים פרטים אחדים על חומרים קלים מפלדה, שהוכנסו לשימוש או נוסו למטרות שריון.

אלומיניום (חמרן). כאשר משוים את מידת חוזקם של נתכי אלומיניום לעומת משקלם הסגולי, ניתן לקבוע כי לשימוש כחומר לצרכי מבנה קיימים נתכי אלומיניום טובים מפלדה. עבור שריון קביעה זו נכונה לגבי פגיעות בעלות אנרגיה נמוכה בלבד. כגון פגיעות רסיסי פגזים. לשם עמידה נגד פגיעות באנרגיה גבוהה יותר, חסרה לנתכי אלומיניום היכולת לספוג אנרגיה. לדוגמה, להגנה נגד אש מקל-עים יהיה שריון אלומיניום קל במקצת משריון פלדה, אך להגנה נגד אש תותחים נ"ט יהיה משקלו הדרוש של נתך אלומיניום גדול מזה של פלדה. יתר על כן, נפחו העצום, במקרה זה, של האלומיניום יקשה על כל תיכון מעשי.

נתכי אלומיניום טיפוסיים לשריון הם אלה המכילים תוספת מגנזיום או אבץ ומגנזיום. דוגמה לכלירכב קל הבנוי מנתך אלומיניום הוא הנגמ"ש האמריקני "M-113" (ציר 3).

טיטניום. על-פי תכונותיהם המכניות ומשקלם הסגולי מהיים נתכי הטיטניום שריון אידיאלי, כאשר נפחם שווה לזה של פלדה, אין הם נופלים ממנה בביצועיהם, בעוד שמשקלם באותו מצב הוא כמחצית ממשקל הפלדה. לרוע המזל, תהליכי העיבוד של נתכי טיטניום קשים יותר, ומחירם גבוה מאוד בהשוואה לנתכי אלומיניום. בתחום השריון הקל, עשוי השימוש בטיטניום לשפר במידה ניכרת את היעילות



תמונה מס' 4 — דגם תובה עבור נגמ"ש M-113 עשויה נתך מגנניום ליטיום.

תמונה מס' 5 — תותח מתנייע מצוייד ביריעת נילון להגנה נגד רסיסים.



הבליסטית של הקסדות הסטנדרטיות המיוצרות מפלדת מנגן (פלדת הדפילד). ניסיונות לייצור קסדות מטיטניום נתקלו בעבר בקשיים טכנולוגיים. אך נראה כי לאחרונה חלה התקדמות ניכרת בתחום זה.

דיסקיות טיטניום בעובי של 0.8 מ"מ מצאו את שימושן כתוספת לשכבות אחרות של ברז ניילון מיוחד, הידוע בשם ניילון בליסטי, באפודות לשריון אישי.

מגנזיום. נתכי מגנזיום מתאפיינים במשקל סגולי נמוך אף מזה של נתכי אלומיניום. לפני כתיסר שנים הוחל בפיתוחם בצבא האמריקני לשימוש בכלי-רכב משוריינים. כתוצאה נבנתה תובה ניסיונית, המיועדת לנגמ"ש "M-113", עשויה נתך מגנזיום-ליטיום (צויר 4). הדגם עבר בהצלחה ניסויי נסיעה, אך בסופו של דבר לא הוכנס לייצור בשל היעדר עמידות כנגד קורוזיה, יעילות נמוכה נגד קליעים חודרי-שריון ומחיר גבוה.

חומרים מרוכבים

אחד הלקחים שנלמדו מניסיון מלחמת ויאט-נאם היה הצורך בשריון להגנה נגד אש נשק-קל על צוותים ומרכיבים חיוניים של מסוקים ומטוסים מנמיכי-טווח. במחקרים מזורזים שוכלל הרעיון של שריון מרוכב, אשר באמצעותו ניתן לגרום להתרסקותו של קלע חודרי-שריון הפוגע בלוח מחומר קשה, ולפור את האנרגיה הנתרת בתוך לוח תומך, העשוי מחומר בעל כושר ספיגת אנרגיה. המטרה בשלב הראשון הייתה פיתוח שריון המסוגל לעמוד נגד קליעים בקלי-בר 0.3" או 7.62 מ"מ, הקל די הצורך להוספה למסוקים קיימים, משקלו המקסימלי המותר היה חמישים ק"ג למ"ר, משקל הרחוק מאוד מן הניתן להשגה על-ידי חומרי-שריון מקובלים, כגון האלומיניום, הטיטניום, או הפלדה הסטנדרטית. פותחו שני סוגים של שריון מרוכב: כב: פלדה על גבי פלדה (dual hardness steel), ושריון קרמופלסטי (ceramoplastic armour).

הסוג הראשון, הפלדה על גבי פלדה, מורכב מלוח-פלדה קשה מאוד, הגורם לשבירתו או הטייתו של קלע חודרי-שריון—אך אינו מתרסק בעצמו, גם אם נסדק עקב המכה הבליסטית, בהיותו מחובר באופן מטלורגי ללוח תומך בעל כושר ספיגת אנרגיה, החוסם התקדמות סדקים. שריון זה, המיוצר עתה בעוביים של ¼ עד ½ אינץ', מספק הגנה נגד קליעים חודרי-שריון של נשק קל, שהיא גדולה בחמישים אחוז בהשוואה לזו שמספק אלומיניום באותו משקל. הוא מצטיין ביכולת הרצועה של עמידות כנגד פגיעות רבות (multihit capability), וניתן לנצל, במידה מוגבלת, גם לתפקידי מבנה. נמשכים מחקרים להרחבת השיטה, הן לייצור לוחות בעובי עד שלושה אינץ', לשם הגנה נגד קליעים גדולים, והן לייצור לוחות דקים, עד עובי של 0.04 אינץ', לשריון אישי נגד רסיסים.

השריון הקרמופלסטי מורכב אף הוא משתי שכבות עיקריות, מודבקות זו לזו: השכבה העליונה עשויה חומר קרמי, והשכבה התחתונה — חומר פלסטי מחוזק בסיבי זכוכית. מנגנון ההגנה הבליסטית ע"י חומר שביר, כחומר קרמי, נבדל עקרונית מתהליך החדירה של קליעים לתוך מתכת סבילה. במתכת מרוכבים האפקטים

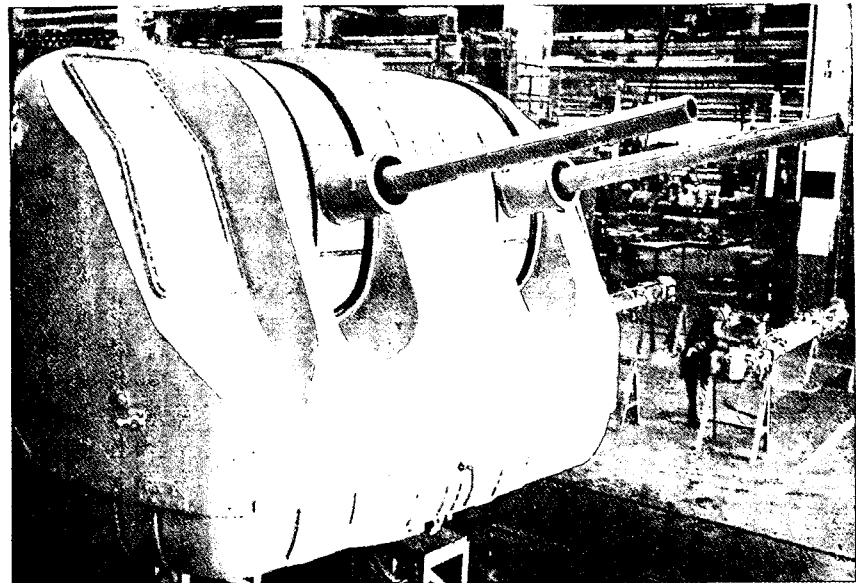
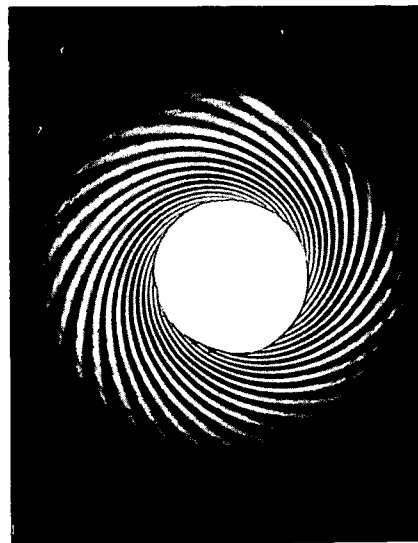
עיניים שקוף עשוי פוליקרבונט, שהוא בלתי דליק ובלתי־שביר, אינו נפצל ועמידתו נגד רסיסים טובה מזו של המגן הסטנדרטי העשוי שרף אקרילי. בשלב מתקדם נמצא פיתוח קסדה ששכבתה החיצונית עשויה פוליקרבונט, ושכבתה הפנימית — ניילון.

פורסם גם דבר השימוש בשרף אפוקסי. מחווק, לייצור מגיני תותחים על־פי הזמנת הצי האמריקני. מגינים אלה עמידים היטב כנגד קררזיה במים מלוחים, אינם זקוקים לצביעה, ומביאים להיסכון של מעל 50% במשקל לגבי מגיני פלדה (ציור 6).

בתנאים מסויימים עשויים חומרים פלסטיים להועיל להגנה רדיולוגית. כך, למשל, בסביבה אליה מגיע שטף נמוך של נויטרונים אטיים, עשוי פוליאיתילן לשמש אמצעי־הגנה נגדם. כיוון שהוא מכיל אחוז גבוה של אטומי מימן, יעילותו גדלה עוד יותר כאשר מפזרים בתוכו כמות קטנה־ביחס של בורון. ניתן להשתמש בו כתוספת מגון קל, על־ידי רפוד דפנות הטנק.

סיכום

החומרים המרוכבים, יחד עם הפלדה, ה־אלומיניום, הטיטניום והניילון הבליסטי, מספקים למתכני שריון אפשרויות נרחבות בבחירת החומר ממנו ייוצר השריון. סוגים מסויימים של שריון עשויים להפיק תוצאות מצויינות בתנאים מסויימים — ותוצאות גרועות בתנאים אחרים. ישנם סוגים הנחשבים יעילים למרבית התנאים, אך אין עדיין שריון שהיא הטוב ביותר בכל התנאים. בעת בחירת חומרים לשריון, יש צורך להחליט, לעתים קרובות, האם דרוש שריון מצויין לצירוף תנאים מיוחד — או שריון בעל ביצועים משיביע רצון בתחום נרחב של תנאים.



תמונה מס' 6 — מגן פלסטיק (אפוקסי) מחווק עבור תותח 5 אינץ'.

ובהם משתמשים באלומיניום, במקום הפלסטיק המחוק, בשכבה תומכת. שריון קרמי עם שכבה תומכת מחומר פלסטי עמיד בטמפרטורות המגיעות עד 1200°C ; ועם שכבה התומכת מ־אלומיניום — עד 2000°C .

משתמשים בשריון המרוכב לשריון אישי לשימוש חיל רגלים וצוותי אויר, לשריון כיסאות טייסים, לוחות־מגן המותקנים על דפנות פנימיים או רצפות של כלי־טיס. מגון מרכיבים חיוניים פגיעים של כלי־טיס, מגון סירות ספור ותותחים.

ההתקדמות בהתאמת השריון המרוכב לרכב קרב יבשתי אטית למדי. טרם יוצר שריון מרוכב להגנה בפני נשק ארטילרי.

את עקרון השריון המרוכב מנסים לנצל גם בפיתוח שריון שקוף, בו השכבה הראשונה עשויה זכוכית מיוחדת, בעלת חוזק גבוה או חומר קרמי שקוף, למשל ספינל (מגנזיום אלר־מינט). המודבקים בעזרת דבק שקוף לשכבה תומכת עשויה חומר פלסטי (חומר זה הוא, למשל, פוליקרבונט שקוף, הידוע בשמותיו המסחריים Lexan או Merlon, המצטיין בהתנגדות גבוהה למכה). ניתן לצפות כי חומר קרמי יתן תוצאות טובות מאלה המושגות בשימוש בזכוכית, עקב מודול האלסטיות הגבוה שלו. מכל מקום נראה, כי בתחום השריון השקוף עדיין דרושה עבודת־פיתוח רבה.

חומרים פלסטיים

סוג השריון הקל ביותר מיוצג על־ידי שכבות בד אחדות עשויות ניילון בליסטי. הוא מנוצל בעיקר לאפודות וקסדות, אך נוסה גם בצורת יריעה לכיסוי תותח מתנייע. כמגן נגד רסיסים (ציור 5). על־ידי השימוש בשכבות בד ניילון מוספגות בשרף פנולי, לשם ייצור קסדות לשימוש של צוותי אויר, הושג שיפור ניכר בהשגת וואה לקסדות עשויות פוליאסטר או אפוקסי מחווקים בסיבי זכוכית. הקסדות צויידו במגן

של המכה, והקלע מאבד את מרבית האנרגיה שלו על־ידי דפורמציה פלסטית. שריון קרמי, לעומת זאת, נוטה לפזר את הלחץ הגבוה של איזור המכה, "למרוח" אותו על פני שטח גדול, ועל־ידי כך להקטין את הלחץ על החומר המוגן שמאחורי השכבה הקרמית.

החומרים הקרמיים הנמצאים כיום בשימוש לשריון קרמופלסטי הם: תחמוצת אלומיניום, סיליקון קרביד או בורון קרביד. התכונות הקובעות את יעילותם הן: קשיות, חוזק בלחיצה, קשיחות (מודול אלסטיות) ומשקל סגולי. כל שלושת החומרים מתאימים ביסודם לעמידה נגד פגיעה אחת בלבד, בורון קרביד הוא הקל והיעיל שבהם, אך השימוש הנפוץ ביותר הוא בתחמוצת אלומיניום, שכן שיטות הכנתה פשוטות יותר, ומחירה נמוך באופן יחסי. נבדקים חומרים קרמיים אחרים, כגון סיליקון ניטריד, תחמוצת בריליום, טיטניום דיבוריד, טיטניום קרביד ועוד.

החומר המקובל לשימוש בשכבה הפלסטית הוא שרף פוליאסטר מחווק בסיבי זכוכית, לכן נחקרים שרפים אחרים. נמצא, למשל, כי פוליאור־תנים מספקים תוצאות טובות לא פחות מאלה שהושגו בפוליאסטר, אולם אלה האחרונים זולים במידה ניכרת. כן נחקרת התאמתם של סיבי־זכוכית בעלי מודול־אלסטיות נמוך יותר, ונבדקים סיבים אחרים, כגון ניילון, פוליפרופילן, פחמן ואחרים. השכבה הפלסטית מודבקת לשכבה הקרמית בעזרת דבק גמיש.

בתנאים מסויימים, עקב התרסקות השכבה הקרמית ושברת הקלע החודר, מתפזלים חלקיקים עפים (פיצול חיותי) שהם בעלי אנרגיה מספקת כדי לסכן אנשים וציוד. מסיבה זו מוסיפים בחזית השכבה הקרמית מגן נגד פיצול, עשוי לרוב ניילון בליסטי.

במקרים מיוחדים קיימת דרישה לעמידות בטמפרטורה גבוהה או לחווק סטרוקטורלי כלשהו.