

مواد زرهی شفاف

Bagherpour.put@gmail.com

مهندس ایمان باقرپور

چکیده:

در این مقاله کارایی بالستیک سرامیک ها و شیشه های شفاف مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله انواع مختلف کامپوزیت های لایه لایه از نقطه نظر مقاومت بالستیک مقایسه شده اند.

و همچنین در مورد آماده نشدن مقاومت بالستیک ساندویچ های لایه لایه ای { از جنس سودا و آهک به همراه سیلیکات شناور که در لایه بالا آن، یاقوت قرار داده شده است }، برابر دو نوع مهمات سوراخ کننده زره (AP) با کالیبر 7.62 mm با سطح محافظت 3 بر اساس توافق استاندارد (4569) سازمان ناتو مورد تحقیق قرار گرفته است و همچنین برای ارزیابی کارایی بالستیک، تست عمق نفوذ و معیار بهره بری جرمی از آلیاژ ساندویچ (BMES) مورد استفاده قرار گرفته است که از نظر اقتصادی، تکنولوژیکی اپتیکال (Optical) و بالستیک، ساختار ساندویچ مناسبی برای این کار پیدا شده است که آن ساختار شامل یاقوت در لایه جلویی، لایه های شناور اصلی لایه پلی کربنات داخلی پخته شده می باشد.

مقدمه

۱- مواد سرامیکی به تناوب و به صورت موفقیت آمیزی در مواد زرهی در دنیا استفاده می شود. مقایسه وزنی فولاد و کامپوزیت های سرامیکی زرهی، با مقاومت یکسان در برابر مهمات، نشان می دهد که با استفاده از مواد سرامیکی، جرم به مقدار قابل توجهی می توان کاهش یابد که در نتیجه آن وزن نیز کاهش میابد.

برای کاربردهای زرهی از اکثر مواد سرامیکی اکسیدی و غیر اکسیدی نظیر (B_4C) و (AL_2O_3) و (Si_3N_4) و (SiC) و (TiB_2) ، کامپوزیت $(SiC-Si)$ ، میتوان استفاده کرد. همچنین مواردی نظیر قیمت، در دسترس بودن، تکنولوژی تولید و کارپذیری، در تعیین موارد مصرف آنها تاثیر گذار است. همان گونه که میدانید از دید اقتصادی و تکنولوژیکی، معمولی ترین ماده استفاده در تولیدات زرهی، آلومینیوم است.

زره کامپوزیت سرامیکی معمولاً برای محافظت در برابر پرتابه های انرژی بالا، به خصوص در سلاح های کوچک و تفنگ های سنگین ماشین طراحی می شود. این پرتابه های معمولاً به صورت گرد (کروی شکل) هستند که هسته آنها از فولاد سخت $(HV_2 848 - 870)$ و دانسیته متوسط $(g cm^{-3} 7.85)$ یا از تنگستن کاربید با دانسیته های بالاتر $(cm^{-3} 13.5-15.0)$ و سختی $(HV_2 1347-1394)$ ساخته شده است. این هسته سخت به منظور در نظر گرفتن ایرودینامیک و بالستیک داخلی، توسط یک لایه نازک از فلزشکل پذیر ساخته شده است، اما استحکام نفوذ توسط خواص هسته آنان بررسی می شود.

این پرتابه ها معمولاً نسبت طول به قطر آنها در بازه $(3.0 و 5.1)$ و سرعت متوسط کمتر از $(1000 m/S)$ می باشند. کالیبراسون های قابل قبول $(14.5 mm)$ هستند که در تفنگ های سنگین (soviet KPV) به کار رفته است. عموماً این پرتابه ها تمایل به تولید انرژی جنبشی در مقیاس $(10^4 J - 10^5 J)$ دارند، دسته بندی مهمات آنها با توجه به سطح محافظت آنها در استاندارد (4569) سازمان ناتو مشخص شده است. بدنه اصلی مقالات

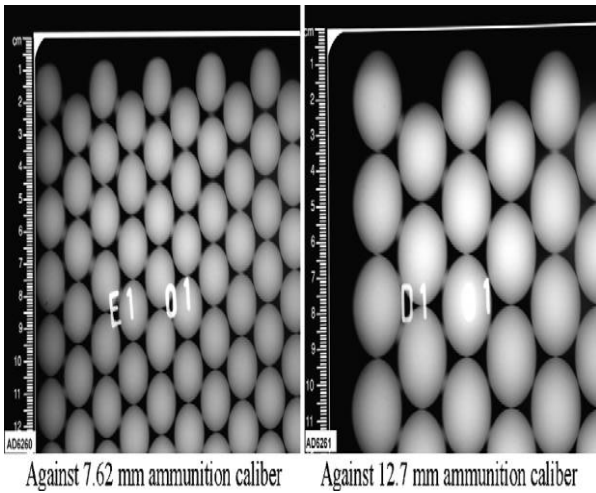
ظاهر زره های سرامیکی: تکنولوژی تولید و قابلیت کارکرد دشوار مواد سرامیکی سبب محدود شدن کاربرد آنها در زره ها شده که فقط در حالت صاف می توان از آنها استفاده کرد. این صاف های صاف از کاشی های باشکل های متنوع ساخته شده است که معمولاً به صورت مربع و شش ضلعی هستند. قابل ذکر است که اندازه آنها متناسب با سایز کالیبر مهمات مورد استفاده می باشد.

برای مثال کاشی استاندارد برای مقاومت در برابر مهمات با سایز کالیبر (7.62) ابعاد آن باید $\{ 50 \times 50 \}$ میلی متر می باشد. برای کالیبر های بالاتر، سایز بزرگتر پیشنهاد می شود.

چون استفاده از صفحات سرامیکی برای سطوح منحنی پیچیده است، از سرامیک ها که در قالبی از فلز، پلیمر و در زمینه غیر ارگانیک است استفاده می شود. ساخت این زره

ها در شکل (2) نشان داده شده است. سایز گلوله و استوانه های فلزی (زره های شامل گلوله و استوانه های سرامیکی است) باید به اندازه کالیبر مهمات مورد استفاده ، قابل مقیاس باشد.

پیوند مناسب بین زمینه و قسمت های سرامیکی باعث بروز مشکل جدی می شود. برای عملکرد صحیح زره مکانیکی وجود یک لایه محکم پشتی ضروری است که در آنها از آلیاژهای آلومینیوم و فولاد معمولا به عنوان لایه پشتیبان استفاده می شود که باعث افزایش وزن در زره می شود، برای حل این موضوع از لایه های بالستیکی پایه گذاری شده روی فیبر های شیشه ای و پلی اتیلنی برای کاربرد های وزن پایین استفاده می شود که در آن چسب هایی از جنس پلی ارتان یا پلی سولفید استفاده شده است.



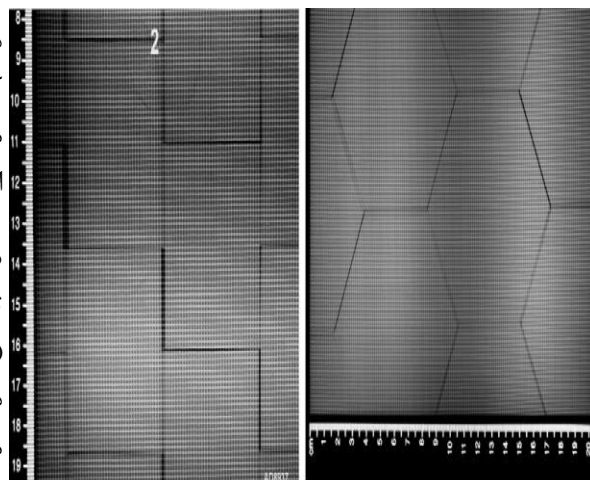
(شکل شماره ۲)

1-2- زره های شفاف : همان گونه که قبلا ه آن اشاره کردیم مهمترین فاکتور محدود کننده زره ها وزن و ضخامت آنان می باشد و به منظور استحکام بیشتر، لایه های ضخیم تر مورد نیاز است که باعث افزایش وزن می شود. از طرفی می دانیم که با افزایش ضخامت لایه های شفاف انتقال نور در آنها کاهش می یابد، باتوجه به این نکته اگر در زره استحکام بالا مورد نیاز است، نصب این زره ها در تجهیزات نظامی مشکل است چرا که وزن و ضخامت آنها افزایش می یابد.

شکل ، ضخامت و وزن بالای این زره ها توسط تحقیق و توسعه در زمینه مواد سرامیکی شفاف با سختی بالا همانند $(MgAl_2O_4)$ و تک کریستالی (Al_2O_3) حل شده است ، اما قابل ذکر است که تکنولوژی تولید این مواد در اروپا هنوز خواص مورد نیاز را تامین نکرده است و خرید این مواد در آمریکا بسیار گران و غیر ممکن است.

1-3- زره های سرامیکی شفاف

اصول ساخت زره های شفاف همانند انواع کدر آنهاست. ساختار زره های ضد عملیات پیشرفته در شکل (3) نشان داده شده است.



Square shape

Hexagonal shape

Fig. 1. Typical shapes of ceramic tiles

(۲)

اشعه های مادون قرمز ، نور مرئی و فرابنفش توسط اسپیکترمتر (Spectrophotometer) مدل (PE Lambda 9) اندازه گیری شده.

آزمون مقاومت بالستیک از نمونه های آماده شده سرامیکی و شیشه شناور مواد زرهی و زره هایی با ساختار ساندویچی در برابر پرتابه های سلاح های سبک بر اساس استاندارد (4569) انجام می شود و روش محاسبه عمق نفوذ مطابق (P-DOP VTUO 01/05⁷) و (P-DOP VTUO 02/06⁸) اندازه گیری می شود.

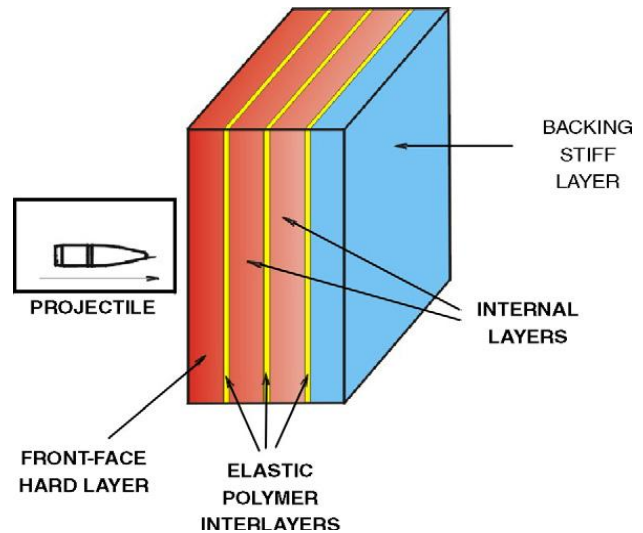
روش اول برای تست تک ماده ها و روش دوم برای مواد لایه ای به کار برده می شود. تفاوت آنها تنها در چیدمان اهداف می باشد (نگهدارنده قطعه).

در طول تست های بالستیک کل واحد منناژ شده شامل نمونه تک ماده یا زره ساندویچ (لایه لایه ای)، از هر دو طرف، مخالف به قاب هدف ، فیکس شده اند. سطح هدف به صورت عمود بر خط حرکت پرتابه قرار داده شده است. نمونه به فاصله 10 متری دهانه تفنگ و در همان ارتفاع قرار گرفته، بنابراین اکثر انحراف حین برخورد 5° درجه می باشد.

سرعت برخورد پرتابه به کمک روش نوری و در طول یک متر از محل پرتاب گلوله در هر شلیک اندازه گیری می شود. فاصله دیتکتور اندازه گیری سرعت پرتابه در فاصله 7 متری دهانه تفنگ قرار دارد. سرعت اسمی پرتابه برای این آزمایش ها ($930 \pm 20 \text{ ms}^{-1}$) و ($854 \pm 20 \text{ ms}^{-1}$) مطابق سطح 3 استاندارد (4569⁶) می باشد. برای ارزیابی معیار مقاومت بالستیکی از ضریب جرمی بالستیک و ضریب جرمی بالستیک ساندویچی از فرمول های زیر استفاده شده است.

$$BME = \frac{AD_{standard}}{AD_{cer} + AD_{AL}} = \frac{P_{AL} T_{standard}}{P_{cer} T_{cer} + P_{AL} DOP_{corr}} \quad (1)$$

$$BME_s = \frac{AD_{standard}}{AD_{cer} + AD_{gs} + AD_{AL}} = \frac{P_{AL} T_{standard}}{P_{cer} T_{cer} + P_{cer} T_{gs} + P_{AL} DOP_{corr}}$$



(شکل شماره ۳)

در شکل شماره ۳ میبینیم که لایه جلویی باید تا حد امکان محکم باشد تا به پرتابه (گلوله) آسیب برساند. در نمونه های ایده آل این لایه باید از مرکز پرتابه مستحکم تر باشد.

در حال حاضر در زره ها از شیشه سخت شده یا سرامیک های شیشه ای استفاده می شوند اما در واقع به شفافیت قبلی ها نیستند. نقش لایه پشتی ، جمع آوری تکه های سرامیک و خرد کردن آنها توسط لایه میانی می باشد تا از انتشار ترک جلوگیری شود که برای این منظور از مواد سفت همانند پلی کربنات برای این لایه استفاده می شود و در ادامه از شیشه ها و سرامیک های شیشه ای برای لایه های میانی استفاده می شود و از فیلم های پلیمری برای چسباندن آنها استفاده می شود.

2- کارها آزمایشگاهی: از شیشه شناور ، شیشه سرامیکی ، شیشه کوارتز و آیون (ALON) به عنوان مواد زرهی به کار برده می شود.

زره های در اصطلاح ساندویچی در اتوکلاو های دما بالا و تحت خلاء ساخته می شوند. فیلم های پلیمری به عنوان چسب های لایه میانی و کاشی های سرامیکی به عنوان ماده لایه پشتی به کار برده می شود که سختی آنها توسط روش ویکرز و با نیروی (0.1 kg) اندازه گیری شده است.

شاخص شکست نور در این زره ها برای طیف خطی با پهنای (D=589.3 nm) توسط شکست سنج (Pulfrich)، و میزان انتقال

(۲)

برای تست های بالستیک استفاده شده. پرتابه استاندارد به کار برده شده برای تست بالستیک مطابق با استاندارد های نظامی (4569) ناتومی باشد.

نتایج تست های بالستیک برای تک ماده ها در جدول 2 آورده شده است. این نتایج برای چند ماده های شیشه ای شناور با ساختار ساندویچی و بالایه ی جلویی از جنس شیشه یاقوتی در جدول 3 نشان داده شده است.

جدول شماره ۱

Mechanical and physical properties of armour materials

Material	Hardness, HV0.1		Refractive index, nD		Transmission (%)
	UV (200-380 nm)	Vis (380-780 nm)	UV (200-380 nm)	Vis (380-780 nm)	NIR (780-3200 nm)
AlON	1772	1.7938	1-82a		82-85 85-87
Sapphire	2158	1.7681	1-75b		75-82 82-85
Quartz glass	756	1.4586	53-91		91-92 83-93
Glass ceramics	633	1.5263	1-29c		29-88 70-88d
Float glass	572	1.5204	1-87e 92		82- 72-82f

A. To 230 nm opaque. B. To 215 nm opaque. C. To 350 nm opaque
D. Above 2650 nm opaque E. To 310 nm opaque F. Above 2700 nm opaque

جدول شماره ۲

The results of ballistic tests of single materials

Material	AD (kgm ⁻²)	HV0.1	DOP (mm)
BME			
NAMMO			
RAPI			
Float glass—Glaverbel, CZ	17.57	572	43.9
1.01	—		—
Glass ceramic—SVOS, CZ	17.15	633	39.1
1.12	1.17		38.4
Quartz glass—Degussa, IT	15.47	756	38.5
1.15	1.18		38.5
AlON—Surmet, US	25.55	1772	30.1
1.29	3.22		7.1

جدول شماره ۳

The results of ballistic tests of layered sandwich structures

Number of glass internal layers		Glass front-face layer					
Sapphire front-face layer		DOP (mm)				BMES	
DOP (mm)		BMES		DOP (mm)		BMES	
RAPI	NAMMO	RAPI	NAMMO	RAPI	NAMMO	RAPI	NAMMO
3							
0	1.09	1.56	22.9	13.3	0.96	1.21	13.1
4							
0	1.06	1.31	12.6	9.2	1.04	1.15	8.2
5							
0	0.96	1.09	9.3	4	0.95	1.09	5.1
6							
0	0.91	0.94	6.6	1.9	0.87	0.97	0

4- بحث

یاقوت مواد مختلف زرهی برای لایه رویی تست شده است برای لایه نهایی ساختار ساندویچی استفاده می شود زیرا دارای سختی بالا، خواص اپتیکی خوب و دسترسی کافی در

که در این رابطه :

AD=چگالی واقعی . $T_{standard}$ = عمق نفوذ به نمونه بالستیک . T_{cer} = ضخامت لایه سرامیکی شیشه ای جلو . T_{gs} = ضخامت لایه های شیشه ای جلو (بدون اولین لایه جلویی). ρ = چگالی و DOP_{cer} = عمق نفوذ در نمونه ساندویچی دوباره محاسبه شده با سرعت اسمی پرتابه ها می باشد.

3- نتایج و بحث:

3-1- نوع زره سرامیک شیشه ای شفاف : خواص مکانیکی و فیزیکی مواد زرهی شفاف در جدول 1 آورده شده است.

مهم ترین خاصیت مواد زرهی، مقدار مقاومت بالستیک آنها و نتایج تست های بالستیک آنها می باشد. در ادامه نتایج تست های بالستیک خلاصه وار آورده شده است. مثال هایی از ساندویچ های شفاف در شکل 4 نشان داده شده است.



(شکل شماره ۴)

برای ارزیابی مقاومت بالستیک، عمق نفوذ در نمونه ای استوانه ای مطابق روابط قبلی مورد استفاده قرار گرفته است.

پرتابه (8 $51AP$ $7.62mm \times$) با هسته تنگستن و (API $54R$ $7.62mm \times$) با هسته فولاد سخت

ای با ابعاد (7.62mm × 51 AP8) را دارد و نمونه ای از جنس شیشه و همچنین لایه جلویی با ضخامت 7mm و از جنس یاقوت توانایی متوقف کردن پرتابه ای با هسته فولادی از نوع (7.62mm × 54R B32) را دارد.

مراجع :

1. *Advances in Ceramic Armor: A Collection of Papers Presented at the 29th International Conference on Advanced Ceramics and Composites, January 23-28, 2005, Cocoa Beach, Florida, Ceramic Engineering and Science Proceedings, Vol. 26, No. 7, ed. Swab, J. J., general eds. Zhu, D. and Kriven, W. M., ISBN 1-57498-237-0.*
2. Renahan, C. C., Andrews, W. S. and Jaansalu, K. M., In *Proceedings of 23rd International Symposium on Ballistics*, 2007, pp. 1487-1493.
3. Bodisova, K., Sajgalik, P., Galusek, D. and Svancarek, P., *J. Am. Ceram. Soc.*, 2007, **90**, 330-332.
4. Rolc, S., Klement, R. and Casek, P. *Research and Development of New Transparent Materials for Armours*. Research Report. VTUO Brno, 2004.
5. Gooch Jr., W. A., In *Proceedings of the Ceramic Armor Materials by Design Symposium Ceramic Transactions, Vol. 134*. The American Ceramic Society, Westerville, Ohio, 2002.
6. *NATO STANAG 4569 Protection Levels for Occupants of Logistic and Light Armoured Vehicles*, May 24, 2004.

تعداد و ابعاد بالا و همچنین از بعد اقتصادی مناسب می باشد. سرامیک های شیشه ای و کوارتز، بیشتر یاقوت دارند. همچنین شیشه شناور برای مقایسه تست شده توسط گلوله متوسط مناسب است. لایه جلویی از جنس یاقوت به عنوان لایه فوق سخت به کار برده شده که شیب کاهش توانایی نفوذ پرتابه (گلوله) توسط اتلاف انرژی به کمک خرد کردن و فرسایش آن می باشد.

لایه شیشه ای درونی به همراه میان لایه هایی از فیلم های پلیمری در اتلاف انرژی و متوقف کردن گلوله نقش دارد. لایه های پلیمری نقش نگه داشتن ساختار را نیز دارد و ماده پستی پلی کرینات در حفاظت از سرامیک شیشه و در نهایت شکستن مهمات نقش موثری دارد.

اگر نفوذ در ساختار های ساندویچی بالایه جلویی شیشه ای مقایسه شود، در هر دو نوع گلوله های متوسط و قوی {کالیبر متوسط و بزرگ} افزایش ضخامت لایه شیشه ای باعث کاهش عمق نفوذ می شود. همین شرایط برای نمونه بالایه های یاقوت قابل مشاهده است. در مورد گلوله های متوسط برای نمونه ای با 6 لایه قوطه و شیشه ای عمق نفوذ برابر صفر می شود. در مورد (گلوله) پرتابه های سنگین {کالیبر بزرگ} سه عدد لایه میانی برای متوقف کردن گلوله کافی است. علت این تفاوت ها در خواص مهمات می باشد. گلوله سنگین هسته ای از جنس فولاد مارتنزیتی دارد در حالیکه هسته گلوله های متوسط از جنس تنگستن باسختی و چگالی بیشتر است {بنابراین توانایی نفوذ بیشتر دارد}.

5- نتیجه گیری : نتایج تست بالستیک روی تک ماده نشان میدهد که یاقوت استحکام بالستیک کافی برای به کار گیری در لایه جلویی زره را دارد.

نتایج تست بالستیک روی چند ماده کامپوزیتی نشان میدهد که نمونه هایی شیشه ای با لایه ی جلویی از جنس یاقوت، استحکام بالستیک بیشتری دارند، و همچنین برای نمونه هایی با ضخامت یکسان و ساختار ساندویچی شیشه ای با لایه جلویی از جنس یاقوت در مقابل گلوله مقدار عمق نفوذ کمتری دارند نسبت به همان نمونه با لایه ی جلویی از جنس شیشه.

به عنوان مثال یک نمونه شش لایه با ضخامتی برابر 8mm برای هر لایه از جنس شیشه شناوری و لایه جلویی به ضخامت 7mm از جنس یاقوت، توانایی متوقف کردن پرتابه