مجله مهندسی مکانیک مدرس، مهر 1396، دوره 17، شماره 7، ص‌ص 109-118

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

بررسی تجربی ضربه سرعت پایین پرتابه با دماغه‌های تخت، مخروطی و نیم‌کروی بر روی اهداف گلر نوع سوم

محمّد اکرامی[1]، حامد احمدی[2]، محمّد بیات[3*]،هادی صبوری[4]

1- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهر ری، تهران
2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
3- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یادگار امام خمینی (ره) شهر ری، تهران
4- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه خوارزمی، تهران
*تهران، صندوق پستی 144 -18155، mbayat@iausr.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 17 اردیبهشت 1396
پذیرش: 11 خرداد 1396
ارائه در سایت: 22 تیر 1396

کلید واژگان:
گلر
ضربه سرعت پایین
شکل دماغه پرتابه
جذب انرژی ضربه
کامپوزیت‌های الیافی - فلزی

چکیده

در این مقاله، ضربه سقوط آزاد پرتابه با دماغه‌های مختلف بر روی اهداف گلر نوع 3 به صورت تجربی بررسی شده است. این اهداف، از دو لایه آلومینیوم 2024 و 6 لایه کامپوزیت به روش لایه چینی دستی ساخته می‌شوند. لایه‌های کامپوزیتی از الیاف شیشه نوع E تک جهته و رزین CY 219 با سخت کننده HY 5161 تهیه می‌گردد. پرتابه‌ها با دماغه‌هایی به شکل تخت، نیم‌کروی و مخروطی 90° با سختی بالا ساخته شده‌اند و با انرژی ضربه 40 J، 55 J و 70 J با اهداف برخورد می‌کنند. در این تحقیق تاثیر شکل دماغه‌ها در حداکثر نیروی ضربه، میزان نفوذ پرتابه، میزان جذب انرژی هدف و هندسه و ابعاد ناحیه آسیب‌دیده مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد اهداف تحت ضربه پرتابه مخروطی در هر سه انرژی ضربه و در پرتابه نیم‌کروی در 55 J و 70 J دچار نفوذ کامل می‌شوند. در سطح بالایی گلرها تحت ضربه پرتابه تخت پلاگ برشی ایجاد می‌شود و در سطح پایینی آنها در انرژی ضربه 40 J و 55 J تغییر شکل پلاستیک بوجود می‌آید. در پرتابه نیم‌کروی با انرژی ضربه 40 J و در پرتابه تخت با 70 J ، تنش‌های کششی در لایه آلومینیومی زیری هدف ترک طولی ایجاد می‌کنند. همچنین، نتایج نشان می‌دهند که بیشترین و کمترین مقدار نیروی تماس و انرژی جذب شده توسط هدف، به ترتیب در برخورد پرتابه تخت و مخروطی 90° ایجاد می‌شوند.

Experimental study of projectiles with flat, conical and hemispherical nose shapes on low velocity impact on GLARE 3

Mohammad Ekrami[1], Hamed Ahmadi[2], Mohammad Bayat[1*], Hadi Sabouri[3]

1- Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH) Shahre Rey Branch, Tehran, Iran
2- Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3- Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran
* P.O.B 18155-144 Tehran, Iran, mbayat@iausr.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 07 May 2017
Accepted 01 June 2017
Available Online 13 July 2017

Keywords:
GLARE
Low Velocity Impact
Projectile Nose Shape
Impact Energy Absorption
Fiber Metal Laminates

ABSTRACT

In this paper, drop weight impact tests using projectiles with different nose shapes on GLARE 3 are examined experimentally. GLARE targets are made of two aluminum sheets and six composite layers by hand lay-up method. The composite layers are constructed using unidirectional E-glass fiber and cy219 resin with adding hy5161 as a hardener. The projectiles are manufactured in flat, hemispherical and conical 90° nose shapes and hardened. The projectiles collide to targets with initial impact energies of 40, 55 and 70 J. In this study, the effects of nose shape at the maximum impact force, the penetration, the energy absorption, and damage zone are examined. The results show that conical projectile in all three impact energies and hemispherical projectile at 55 and 70 J fully penetrate targets. Under impacts of the flat projectile, a shear plug is formed on the upper face of targets and a plastic deformation is created on the bottom face of targets in impact energies of 40 and 55 J. For hemispherical projectile at 40 J and for flat one at 70 J, the tensile stresses in the aluminum sheet located at the bottom face of target result in longitudinal crack. Moreover, results show that the maximum and minimum contact force and energy absorption occur in the projectile with flat and conical nose shapes, respectively.

1- مقدمه

امروزه کامپوزیت‌های الیافی- فلزی به صورت گسترده در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از انواع این مواد گلرها[1] می‌باشند که از ورق‌های نازک فلزی با استحکام بالا - معمولاً آلومینیوم- و کامپوزیت شیشه-

[1] GLARES (Glass Laminate Aluminum Reinforced Epoxy)

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

M. Ekrami, H. Ahmadi, M. Bayat, H. Sabouri, Experimental study of projectiles with flat, conical and hemispherical nose shapes on low velocity impact on GLARE 3, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 17, No. 7, pp. 109-118, 2017 (in Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.7.56.8]

اپوکسی تشکیل شده‌اند. این مواد دارای خواص مقاوم به ضربه بالا، استحکام زیاد، نسبت استحکام به وزن و سفتی بالا، مقاوم به خوردگی و مقاوم در برابر بارهای خستگی می‌باشند. مهمترین ویژگی این مواد که مورد توجه محققین قرار گرفته، مقاومت به ضربه بالا می‌باشد. اثرات ناشی از ضربه می‌تواند خسارات جبران ناپذیری بر روی جان افراد و اشیای گران‌قیمت، نظیر هواپیماها و فضاپیماها داشته باشد. محققین همواره در تلاش هستند تا به تجهیزات و سازه‌های سبک و دارای مقاومت به ضربه بالا دسترسی پیدا کنند تا اینکه در هزینه‌های سوخت صرفه جویی شود و ایمنی سازه افزایش یابد.

شکل دماغه پرتابه یکی از مهمترین عوامل مؤثر در تعیین میزان خرابی و خسارت ناشی از ضربه می‌باشد. برای نمونه بدنه خودرو ممکن است در اثر برخورد سنگریزه‌های جاده دچار سوراخ شدگی سطحی و در اثر برخورد پرنده‌گان دچار غر شدگی[1] گردد. بنابراین با تغییر شکل دماغه پرتابه‌ها می‌توان انتظار داشت که در هنگام برخورد نوع تخریب‌ها متفاوت باشد.

فن و همکارانش [1] بر روی ضربه سرعت پایین در کامپوزیت با لایه‌های الیاف بافته شده به همراه ورق‌های آلومینیوم 2024 بررسی تجربی انجام داده‌اند. آنها گزارش کردند که مقدار انرژی لازم برای نفوذ به درون هدف با افزایش ابعاد نمونه، ضخامت ورق و قطر ضربه زننده بیشتر خواهد شد. علاوه بر این، نتایج عددی بدست آمده برای نمودار نیرو-جابجایی با نتایج آزمایشگاهی مطابقت قابل قبولی داشت.

تی‌سارت‌ساریس و همکارانش [2] را بر روی کامپوزیت‌های الیافی فلزی در ضربه سرعت پایین به روش عددی انجام دادند. نتایج تحقیقات گویای این مطلب بود که هدف از طریق تغییر شکل پلاستیک موضعی و شکست سطحی بین لایه‌ای انرژی را در خود جذب می‌کرد.

چوی و همکارانش [3] به این نتیجه رسیدند که ترتیب چیدمان لایه‌ها به طور ویژه‌ای آسیب‌های ناشی از بار ضربه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نتایج بررسی‌های آنها به خوبی نشان می‌داد که انرژی ضربه مورد نیاز برای شکست یک نمونه کامپوزیتی تا حدود زیادی به ترتیب چیدمان لایه‌ها بستگی دارد.

میلی و همکارانش [4] تأثیر چیدمان لایه گذاری‌ها را در کامپوزیت با الیاف شیشه‌ای (90-0) درجه مورد بررسی قرار دادند. آنها گزارش دادند که نیروی برخورد تماسی و مقدار جابجایی در کامپوزیت فقط به سرعت برخورد بستگی دارد.

چوی و همکارانش [5-7] برای بررسی مکانیزم تخریب با استفاده از بار ضربه‌ای از یک ضربه زننده با دماغه خطی شکل استفاده کردند. آنها نشان دادند که پاسخ به ضربه کامپوزیت‌ها متأثر از جرم ضربه زننده می‌باشد.

میتروسکی و همکارانش [8] تأثیر نوک دماغه پرتابه‌های مخروطی، اجیوال و نیم کروی را در ضربه سقوط آزاد بر روی کامپوزیت کربن اپوکسی مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که بیشترین مقدار جذب انرژی توسط هدف و مقدار ماکزیمم نفوذ زمانی است که از پرتابه سرمخروطی استفاده شود. آن‌ها همچنین نشان دادند که مقدار نیروی تماسی و مدت زمان تماس بین هدف و پرتابه در صورت استفاده از پرتابه سر نیم کروی به ترتیب به بیشترین و کمترین مقدار خود می‌رسد.

بررسی تجربی ضربه سرعت پایین پرتابه با دماغه‌های مختلف روی اهداف گلر نوع سوم در منابع علمی در دسترس، مشاهده نشد. بنابراین در این تحقیق، تاثیر شکل دماغه‌ها، مقاومت به ضربه، میزان جذب انرژی و ناحیه شکست در اهداف گلر $(Al/0_3/90_3/Al)2/1$ 3 تحت اثر پرتابه با دماغه نیم کروی، مخروطی (90 درجه) و تخت به صورت تجربی مورد بررسی قرار می‌گیرد. اهداف گلر از دو لایه آلومینیوم 2024 و 6 لایه کامپوزیت به روش لایه چینی دستی و لایه‌های کامپوزیتی از الیاف شیشه نوع E تک جهته و رزین CY 219 با سخت کننده HY 5161 تهیه می‌گردد.

2- انجام آزمایش‌ها

2-1- ساخت هدف، مواد اولیه و آزمون خواص مکانیکی

همان‌طور که بیان شد، هدف استفاده شده در این تحقیق گلر نوع 3 می‌باشد که از 2 لایه آلومینیوم 2024-T3 با ضخامت 0.5 mm و 6 لایه الیاف شیشه نوع E تک جهته با چگالی سطحی 300 gr/m^2 ساخته می‌شود.

رزین و سخت کننده[2] مورد استفاده به ترتیب از نوع CY 219 ساخت شرکت‌هانسمن و HY 5161 است. نسبت اختلاط جزء سخت کننده به پایه پلیمر، طبق پیشنهاد شرکت سازنده، 50:100 است.

در این تحقیق 30 نمونه گلر 3 به روش دستی به شرحی که در ادامه آمده، تهیه شده‌است. ورق‌های آلومینیومی بعد از برشکاری در ابعاد مورد نظر (11×11 cm^2) به وسیله سمباده مخصوص خراش دهی و سپس با استفاده از مایع استون صنعتی چربی زدایی می‌شوند. در مرحله بعد لایه‌های الیاف شیشه و آلومینیوم با قلم‌مو به ترکیب چسب حاوی رزین و سخت کننده آغشته می‌شوند. در مرحله آخر نیز نمونه‌های ساخته شده زیر دستگاه پرس دستی به مدت 12 ساعت تحت فشار قرار می‌گیرند. برای اعمال بار فشاری به نمونه‌ها از 20 عدد پیچ M10 استفاده می‌شود که فشار مناسبی را بر روی نمونه‌ها ایجاد می‌کنند. با توجه به تخت بودن سطح دستگاه پرس، فشار بر نمونه‌ها به صورت یکنواخت اعمال می‌گردد. چند نمونه ساخته شده گلر نوع 3 در شکل 1 آمده است.

در شکل 2 مقطع برش خورده گلر 3 نشان داده شده است. هدف از 2 لایه آلومینیوم 2024، 3 لایه کامپوزیت 0° و 3 لایه کامپوزیت 90° تشکیل شده است.

در جدول 1 خواص مکانیکی آلومینیوم 2024 و الیاف شیشه به صورت خلاصه آورده شده است.

2-2- ساخت فیکسچر

فیکسچر ساخته شده دارای دهانه آزاد 90 mm بوده و سطح درگیر هدف در آن از هر طرف 10 mm می‌باشد و توسط 12 عدد پیچ M10 اتصال محکمی

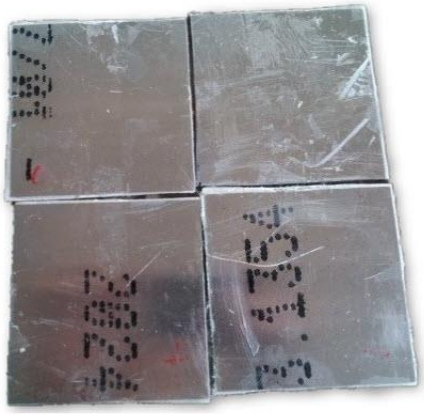

Fig. 1 a few samples of GLARE 3

شکل 1 چند نمونه از گلر نوع 3

[1] Dent

[2] Hardener

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.7.56.8]

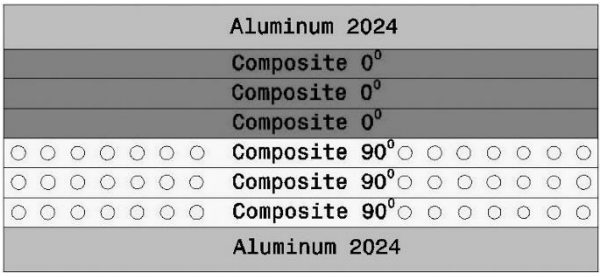

Fig. 2 Cross section view of GLARE 3

شکل 2 نمای برش زده گلر نوع 3

جدول 1 خصوصیات مکانیکی هدف

Table 1 Mechanical properties of target [9]

ماده	خاصیت مکانیکی	مقدار
	مدول الاستیسیته در جهت الیاف	36GPa
کامپوزیت	مدول برشی در صفحه	2.6GPa
شیشه / اپوکسی	نسبت پواسون	0.25
	کرنش شکست	0.0154
	چگالی	1823kg/m^3
	مدول الاستیسیته	72GPa
	نسبت پواسون	0.32
آلومینیوم 2024	تنش تسلیم	350MPa
	کرنش شکست	0.18
	چگالی	2790kg/m^3

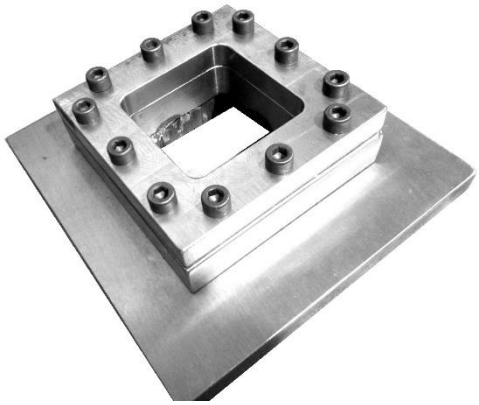

Fig. 3 Fixture

شکل 3 فیکسچر

را فراهم می‌آورد. شکل 3 نمایی از فیکسچر ساخته شده برای آزمون را نشان می‌دهد.

3-2- ساخت پرتابه‌ها

در این تحقیق برای اعمال ضربه از 3 عدد پرتابه با دماغه تخت، نیم کروی و مخروطی 90° با قطر اصلی 10 mm و ارتفاع 85 mm استفاده شد. کلیه پرتابه‌ها از جنس فولاد SPK بوده و برای اینکه در آزمون ضربه دچار تغییر فرم احتمالی نشوند، بعد از عملیات ساخت شامل تراش‌کاری، سوراخ‌کاری و قلاویزکاری مورد عملیات حرارتی قرار گرفته و تا اندازه 60 RC سخت کاری شده‌اند.

همان‌طور که در شکل 4 نشان داده شده است، پرتابه‌ها از دو قسمت اصلی بالا و پایین ساخته شده‌اند. بخش پایینی از طریق سوراخی که در انتهای آن ایجاد شده است به قسمت متحرک دستگاه بسته شده و قسمت بالایی نیز همراه با حرکت عمودی بخش متحرک دستگاه عملیات نفوذ را انجام می‌دهد.

خصوصیات پرتابه‌ها شامل جرم، سختی و قطر اصلی در جدول 2 آورده شده است.

4-2- آزمایش ضربه با دستگاه سقوط آزاد

در این آزمایش پرتابه‌ها با انرژی‌های ضربه 40 J، 55 J و 70 J در شرایط

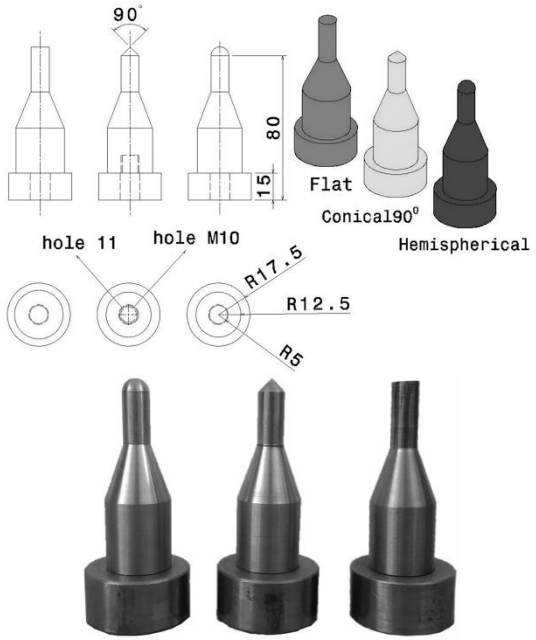

Fig. 4 flat, Conical 90° and hemispherical projectiles

شکل 4 پرتابه با دماغه‌های تخت، مخروطی 90° و نیم کروی

جدول 2 خصوصیات مکانیکی پرتابه‌ها

Table 2 Mechanical properties of projectiles

خاصیت مکانیکی	مقدار
قطر	10mm
جرم بخش متحرک	45.7kg
سختی	60RC

جدول 3 نتایج آزمون ضربه بر روی گلر نوع 3

Table 3 Impact test results on GLARE 3

شماره نمونه	ضخامت میانگین (mm)	شکل دماغه پرتابه	ارتفاع سقوط آزاد (mm)	انرژی ضربه (J)
27	3	تخت	89.2	40
33	3	تخت	122.6	55
17	3.1	تخت	156	70
10	2.9	نیم کروی	89.2	40
15	2.9	نیم کروی	122.6	55
20	3.2	نیم کروی	156	70
37	2.9	مخروطی90^o	89.2	40
21	2.9	مخروطی 90°	122.6	55
11	3	مخروطی 90°	156	خطا
30	3	مخروطی 90°	156	70

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.7.56.8]

یکسان آزمایشگاهی بر روی هدف رها شدند. جدول 3 خلاصه‌ای از نتایج آزمون ضربه و مشخصات هدف را نشان می‌دهد.

دستگاه سقوط آزاد مورد استفاده، از یک سیستم بالابر خودکار، حسگر نوری، سیستم کامپیوتری ثبت داده‌ها، شتاب سنج، میله‌های راهنما، بخش متحرک و پایه تشکیل شده است. شکل 5 نمای این دستگاه را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل 6 نشان داده شده، دستگاه ضربه مجهز به یک شتاب‌سنج و یک حسگر نوری می‌باشد. شتاب‌سنج بر روی وزنه متحرک نصب شده و به محض عبور از مقابل حسگر نوری، رایانه دستگاه شروع به ذخیره داده‌های شتاب بر حسب زمان می‌کند.

برای حذف تغییرات ناگهانی که ناشی از نویزهای مختلف هستند و بر روی پاسخ اصلی در نمودار شتاب-زمان ایجاد می‌شوند از فیلتر باتروورث زیر استفاده می‌شود [10].

$$Y(n) = a_0X(n) + a_1X(n-1) + a_2X(n-2) - b_1Y(n-1) - b_2Y(n-2) \quad (1)$$

در رابطه (1)، a_0، a_1، a_2، b_1 و b_2 ضرایب مرتبه دوم معادله هستند و با روابط (2) تا (6) تعریف می‌شوند:

$$a_0 = \frac{w_a^2}{(1+\sqrt{2}\,w_a + w_a^2)} \quad (2)$$

$$a_1 = 2a_0 \quad , \quad a_2 = a_0 \quad (3)$$

$$b_1 = \frac{2(1-w_a^2)}{(1+\sqrt{2}\,w_a + w_a^2)} \quad (4)$$

$$b_2 = \frac{(1-\sqrt{2}\,w_a + w_a^2)}{(1+\sqrt{2}\,w_a + w_a^2)} \quad (5)$$

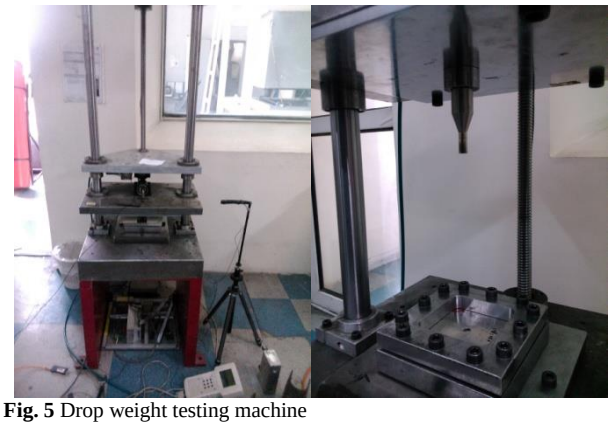

Fig. 5 Drop weight testing machine

شکل 5 دستگاه آزمون ضربه سقوط آزاد

Fig. 6 Drop weight testing machine accelerometer and optical sensor

شکل 6 شتاب‌سنج و حسگر نوری دستگاه آزمون سقوط آزاد

$$wa = \tan\left(\frac{Tw_d}{2}\right)$$
$$w_d = 2\pi\left(\frac{c}{0.6}\right)(1.25) \quad (6)$$

در رابطه (6)، $c/0.6$ فرکانس شکست فیلتر و عدد 1.25 یک ثابت تجربی است.

فیلتر به‌کار رفته یک فیلتر پایین‌گذر پاسخ ضربه نامحدود مرتبه 2 است که با وجود حجم محاسبات کم از دقت کافی برخوردار است.

در شکل 7 یک نمونه از نمودار شتاب-زمان پرتابه با دماغه نیم کروی در انرژی ضربه 70 J بدون فیلتر (خط توپر) و با اعمال فیلتر (خط چین) نشان داده شده است.

3- نتایج و بحث

3-1- نمودار جابجایی- زمان

در شکل 8 نمودار جابجایی- زمان در پرتابه با دماغه‌های تخت، مخروطی 90° و نیم کروی نشان داده شده است. دستگاه آزمون سقوط آزاد داده‌های مربوط به شتاب را بر حسب زمان در سیستم رایانه‌ای خود ثبت می‌کند، بنابراین برای بدست آوردن جابجایی، از نتایج شتاب دو بار انتگرال گرفته می‌شود. تمامی محاسبات بر اساس اولین ضربه وارده به هدف می‌باشد و مقادیر شتاب مربوط به برخورد اول در محاسبات در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، داده‌های قبل و بعد از آن در محاسبات وارد نمی‌گردد.

همان‌طور که در شکل 8 مشخص است، کمترین مقدار جابجایی در پرتابه با دماغه تخت رخ می‌دهد که به دلیل سطح تماس بیشتر این پرتابه با هدف، منطقه بزرگتری از هدف دچار تغییر شکل ناشی از ضربه می‌شود اما مقدار جابجایی ضربه زننده کمتر است. در پرتابه با دماغه مخروطی 90o شکل، به علت تیز بودن نوک پرتابه، مقدار تمرکز تنش در آن بیشتر است و هدف کاملاً سوراخ می‌شود. درنتیجه، مقدار جابجایی نیز نسبت به سایر پرتابه‌ها افزایش می‌یابد.

مطابق شکل 8 در هیچ یک از نمونه‌های شماره 27، 33 و 17 که تحت ضربه پرتابه تخت به ترتیب در انرژی ضربهJ 40، 55 J و 70 J قرار گرفته‌اند، نفوذ کامل مشاهده نمی‌شود و ضربه زننده پس از برخورد با هدف به سمت بالا برمی‌گردد.

درصورت نفوذ پرتابه در هدف به دلیل کاهش سفتی هدف، مقدار جابجایی افزایش پیدا می‌کند. اما در حالتی که نفوذ رخ ندهد، هدف تمایل

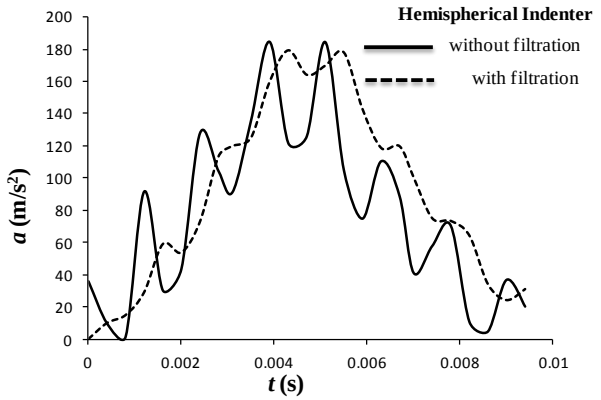

Fig. 7 acceleration-time curve in hemispherical indenter without filtration and with filtration

شکل 7 نمودار شتاب زمان پرتابه با دماغه نیم کروی بدون اعمال فیلتر و با اعمال فیلتر

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.7.56.8]

دارد تا به حالت اولیه خود بازگردد و باعث بازگشت در نمودار جابجایی می‌شود.

مطابق شکل 8 در انرژی ضربه 40 J مقدار جابجایی در اهدافی که تحت نفوذ پرتابه سر تخت، سر نیم کروی و سر مخروطی 90° قرار گرفتند به ترتیب 5.7 mm، 9.7 mm و 13.8 mm، در انرژی ضربه 55 J مقدار جابجایی‌ها برابر با 6.5 mm، 12.1 mm و 14.8 mm و در انرژی ضربه 70 J نیز مقدار جابجایی‌ها برابر با 10.4 mm، 13.4 mm و 13 mm می‌باشد. بنابراین، هر چه سطح تماس پرتابه با هدف بیشتر می‌شود، مقدار جابجایی سر پرتابه کاهش می‌یابد، زیرا تغییر شکل از حالت محلی و موضعی خارج می‌شود و منطقه بزرگتری از هدف را درگیر می‌کند.

3-2- بررسی رفتار هدف در انرژی ضربه 40 J

در شکل 9 نمودار نیرو-زمان در پرتابه با دماغه‌های تخت، نیم کروی و مخروطی 90° در انرژی ضربه 40 J نشان داده شده است. با مشخص بودن شتاب بر حسب زمان و همچنین جرم بخش متحرک دستگاه (45.7 kg)، مقادیر نیرو- زمان محاسبه می‌شود.

$$F = M \times a \tag{7}$$

سطح تماس پرتابه تخت با هدف بیشتر از نیم کروی و برای نیم کروی بیشتر از مخروطی است. با افزایش سطح تماس پرتابه با هدف، چون منطقه بزرگتری از هدف تحت اثر ضربه پرتابه قرار می‌گیرد، بنابراین هدف سفتی بیشتری از خود نشان می‌دهد. در نتیجه در انرژی ضربه 40 J، با افزایش سطح تماس پرتابه با هدف، جابجایی کاهش (شکل 8) و نیروی تماس افزایش می‌یابد (شکل 9).

نمودار شکل 9 نشان می‌دهد که در انرژی ضربه 40 J مقدار نیروی ضربه ماکزیمم در پرتابه با دماغه تخت برابر با 13054 N، در پرتابه با دماغه نیم کروی برابر با 5035 N و در پرتابه با دماغه مخروطی 90° برابر با 3612 N است. نتایج نشان می‌دهد که در انرژی ضربه 40 J، هدف تنها تحت نفوذ پرتابه با دماغه مخروطی 90° ، دچار نفوذ کامل می‌شود. اما با وجود اینکه نیروی ضربه در پرتابه با دماغه تخت به مقدار 9442 N نیوتن بیشتر از نیروی ضربه در پرتابه مخروطی 90° است، پرتابه با دماغه تخت، تنها در لایه اول هدف (لایه آلومینیوم 2024) پلاگ برشی ایجاد می‌کند و در سایر لایه‌ها نفوذی رخ نمی‌دهد. در پرتابه با دماغه نیم کروی نیز که نیروی ضربه در آن

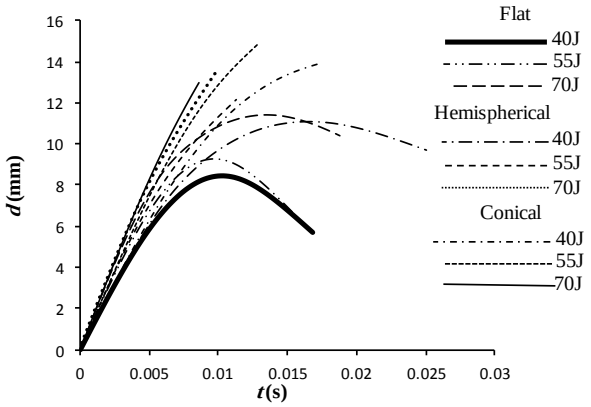

Fig. 8 Deflection-time curve in flat, hemispherical and conical 90° projectile

شکل 8 نمودار جابجایی-زمان در پرتابه با دماغه‌های تخت، نیم کروی و مخروطی 90°

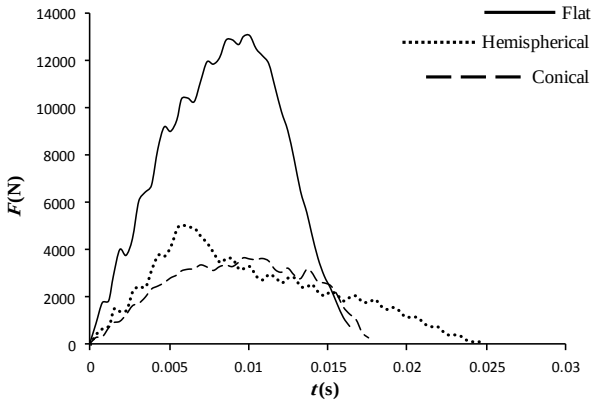

Fig. 9 Force- time curve in flat, hemispherical and conical 90° projectile in 40J impact

شکل 9 نمودار نیرو- زمان در پرتابه با دماغه‌های تخت، نیم کروی و مخروطی 90° در انرژی ضربه 40 J

1423 N بیشتر از پرتابه با دماغه مخروطی 90° است، هدف دچار نفوذ ناقص می‌شود و ترک طولی در لایه آلومینیوم زیری ایجاد می‌گردد، اما نفوذ کامل بوجود نمی‌آید.

شکل 10 نمای جلو و پشت هدف شماره 27 که تحت نفوذ پرتابه سر تخت می‌باشد را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است لایه آلومینیوم زیری، دچار تغییر شکل پلاستیک شده است و در آن ترکی مشاهده نمی‌گردد. در قسمت جلوی هدف نیز پلاگ برشی به وجود آمده است. شکست پلاگینک زمانی رخ می‌دهد که یک قطاع استوانه‌ای شکل تقریباً هم قطر ضربه زننده همراه با یک حرکت نفوذی، در طول مسیر ضربه ایجاد شود. در اثر این حرکت و برش ایجاد شده در اطراف قطاع، شکست پلاگینگ رخ می‌دهد. پلاگ‌ها معمولاً در ورق‌های با ضخامت متوسط به چشم می‌خورند و زمانی تشکیل می‌شوند که دماغه ضربه زننده‌ها تخت باشد.

در پرتابه با دماغه نیم کروی مطابق شکل 11 پس از برخورد، اثر انحنای سر پرتابه بر روی هدف باقی می‌ماند. همچنین در لایه آلومینیوم زیری، تنش‌های کششی ناشی از تغییر شکل خمشی ایجاد ترک طولی می‌کنند. در نمونه شماره 27 نشان داده شده در شکل 10 که تحت نفوذ پرتابه با دماغه تخت قرار گرفت، به علت کم بودن خیز ورق در محل برخورد پرتابه، اینچنین ترکی مشاهده نشد. بنابراین، برخورد پرتابه نیم کروی بیش از پرتابه تخت در سطح پشتی هدف تخریب ایجاد می‌کند.

Fig. 10 Target No.27: front side (left) and back side (right) view under the penetration of flat projectile in 40J impact

شکل 10 هدف شماره 27: نمای جلو (چپ) و پشت (راست) تحت نفوذ پرتابه با دماغه تخت در انرژی ضربه 40 J

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.7.56.8]

Fig. 11 Target No.10: front side (left) and back side (right) view under the penetration of hemispherical projectile in 40J impact

شکل 11 هدف شماره 10: نمای جلو (چپ) و پشت (راست) تحت نفوذ پرتابه با دماغه نیم کروی در انرژی ضربه 40 J

شکل 12 نمایی از قسمت جلو و پشت هدف شماره 37 که تحت نفوذ پرتابه با دماغه مخروطی 90° قرار گرفت را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، پرتابه به طور کامل هدف را سوراخ کرده و نمونه دچار نفوذ کامل شده است. بنابراین، هدف در برخورد با پرتابه با دماغه مخروطی 90° بیش از پرتابه با دماغه نیم کروی و تخت آسیب پذیر است.

شکل 13 توزیع ناحیه آسیب در اهداف شماره 10، 27 و 37 که به ترتیب تحت نفوذ پرتابه با دماغه نیم کروی، تخت و مخروطی 90° قرار گرفتند را نشان می‌دهد. همان‌طور که قبلاً نیز بحث شد، ملاحظه می‌گردد که مقدار توزیع ناحیه آسیب در هدف تحت نفوذ پرتابه با دماغه تخت بیشتر از اهداف تحت نفوذ پرتابه با دماغه نیم کروی و مخروطی 90° می‌باشد.

Fig. 12 Target No.37: front side (left) and back side (right) view under the penetration of conical 90° projectile in 40J impact

شکل 12 هدف شماره 37: نمای جلو (چپ) و پشت (راست) تحت نفوذ پرتابه با دماغه مخروطی 90° در انرژی ضربه 40 J

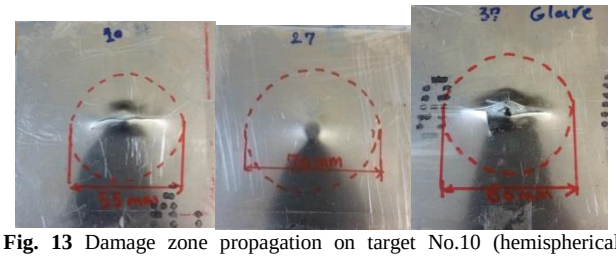

Fig. 13 Damage zone propagation on target No.10 (hemispherical projectile), No.27 (flat projectile) and No.37 (conical 90° projectile)

شکل 13 توزیع ناحیه آسیب بر روی هدف شماره 10 (پرتابه سر نیم کروی)، هدف شماره 27 (پرتابه سر تخت) و هدف شماره 37 (پرتابه سر مخروطی 90°)

همان‌طور که در شکل 10 ملاحظه شد، نمونه شماره 27 تحت نفوذ پرتابه سر تخت به دلیل اینکه پرتابه در آن به طور کامل نفوذ نکرده، دچار شکست کامل نشده اما با مقایسه آن با شکل 13 مشاهده می‌شود که مقدار توزیع ناحیه آسیب در نمونه شماره 27 نسبت به اهداف شماره 10 و 37 که به ترتیب تحت نفوذ پرتابه با دماغه نیم کروی و مخروطی 90° قرار گرفتند بیشتر می‌باشد. بنابراین، در خصوص پرتابه سر تخت مشاهده می‌شود که با افزایش سطح تماس نوک پرتابه با هدف مقدار توزیع ناحیه پلاستیک ایجاد شده در پشت هدف افزایش می‌یابد.

در شکل 14 میزان پاره شدگی در لایه آلومینیوم زیری هدف تحت نفوذ پرتابه با دماغه تخت، مخروطی 90° و نیم کروی نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است، لایه آلومینیوم نمونه شماره 27 تحت نفوذ پرتابه با دماغه تخت دچار هیچ گونه ترکی نشده اما با پرتابه با دماغه مخروطی 90° و نیم کروی دچار ترک طولی شده است. این بدان معناست که در پرتابه با دماغه تخت، به دلیل افزایش سطح تماس نوک پرتابه با هدف، تمرکز تنش کاهش یافته و قسمت عمده انرژی ضربه صرف تغییر شکل دائمی بر روی سطح کل هدف شده و نمونه تحت نفوذ این پرتابه بیشتر تمایل به غر شدگی دارد تا پاره شدگی موضعی، اما در پرتابه با دماغه مخروطی 90° و نیم کروی به دلیل شکل خاص دماغه پرتابه‌ها و کاهش سطح تماس نوک پرتابه با هدف در محل برخورد، تمرکز تنش به شدت افزایش یافته و نمونه فورا دچار نفوذ کامل شده و لایه آلومینیوم نیز دچار پاره شدگی می‌شود. میزان پاره شدگی لایه آلومینیوم در اهداف شماره 10 و 37 که به ترتیب تحت نفوذ پرتابه با دماغه نیم کروی و مخروطی 90° قرار گرفتند به ترتیب برابر با 36 mm و 39 mm است.

3-3- بررسی رفتار هدف در انرژی ضربه 55 J

در شکل 15 نمودار نیرو- زمان برای پرتابه‌ها در انرژی ضربه 55 J نشان داده شده است. با توجه به شکل 15 بیشترین نیروی ضربه در پرتابه با دماغه تخت، نیم کروی و مخروطی 90° به ترتیب برابر با 15591 N، 5958 N و 4238N نیوتن است. بنابراین مجدداً مشاهده می‌شود که کمترین نیروی ضربه در پرتابه با دماغه مخروطی 90° و بیشترین نیرو در پرتابه با دماغه تخت رخ می‌دهد.

در شکل 16 نمای جلو و پشت هدف شماره 33 که تحت نفوذ پرتابه سر تخت قرار گرفته، نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در اثر ضربه سرعت آرام (1.55 m/s) لایه آلومینیوم پشتی هدف دچار تغییر شکل پلاستیک دائمی شده است اما هیچ گونه ترکی در آن مشاهده نمی‌شود. در لایه آلومینیومی جلویی هدف در اثر نیروی ضربه پلاگ برشی به وجود آمده اما لایه کامپوزیتی مجاور آن همچنان دچار آسیب نشده است.

Fig. 14 Bottom layer of aluminum tear on specimen No. 27 (flat projectile), No. 10 (hemispherical projectile) and No. 37 (conical 90° projectile) in 40J impact.

شکل 14 میزان پارگی لایه پایینی آلومینیوم در نمونه 27 (پرتابه سر تخت)، نمونه 10 (پرتابه سر نیم کروی) و نمونه 37 (پرتابه سر مخروطی 90°) در انرژی ضربه 40 J

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.7.56.8]

در شکل 17 نمای پشت و جلوی هدف شماره 15 که تحت نفوذ پرتابه سر نیم کروی قرار گرفته، نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در انرژی ضربه 55 J هدف به طور کامل سوراخ شده است.

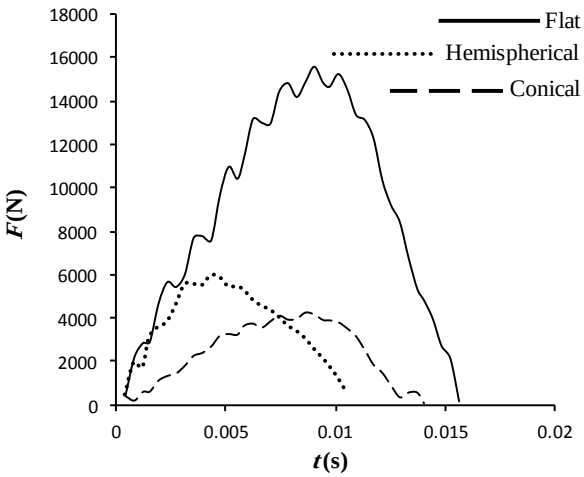

Fig. 15 Force- time curve in flat, hemispherical and conical 90º projectile in 55J impact

شکل 15 نمودار نیرو- زمان در پرتابه با دماغه‌های تخت، نیم کروی و مخروطی 90º در انرژی ضربه 55 J

Fig. 16 Target No.33 front side (left) and back side (right) view under the penetration of flat projectile in 55J impact

شکل 16 هدف شماره 33: نمای جلو (چپ) و پشت (راست) تحت نفوذ پرتابه با دماغه تخت در انرژی ضربه 55 J

Fig. 17 Target No.15: front side (left) and back side (right) view under the penetration of hemispherical projectile in 55J impact

شکل 17 هدف شماره 15: نمای جلو (چپ) و پشت (راست) تحت نفوذ پرتابه با دماغه نیم کروی در انرژی ضربه 55 J

در شکل شماره 18 که مربوط به هدف شماره 21 تحت نفوذ پرتابه با دماغه مخروطی 90º در انرژی ضربه 55 J می‌باشد، هدف به طور کامل سوراخ شده است. بنابراین، در انرژی ضربه 55 J نیز، هدف تحت نفوذ پرتابه با دماغه تخت مقدار شکست و نفوذ کمتری نسبت به اهداف تحت نفوذ با پرتابه‌های سر نیم کروی و مخروطی 90º دارد.

شکل 19 مقدار توزیع ناحیه آسیب بر روی سطح پشتی اهداف شماره 33، 15 و 21 را نشان می‌دهد که به ترتیب تحت نفوذ پرتابه با دماغه‌های تخت، نیم کروی و مخروطی 90º قرار گرفتند.

شکل 19 نشان می‌دهد که مقدار اندازه ناحیه آسیب یا به عبارت دیگر همان سطح تغییر شکل پلاستیک دائمی ایجاد شده در پشت اهدف شماره 33، 15 و 21 به ترتیب کمتر شده است. به عبارت دیگر هر چه سطح تماس نوک پرتابه با هدف کمتر می‌شود، اندازه ناحیه آسیب‌دیده بر روی آن نیز کاهش می‌یابد. این مقدار در هدف شماره 33 برابر با 82 mm، در هدف شماره 15 برابر با 69 mm و در هدف شماره 21 برابر با 64 mm می‌باشد. همان‌طور که در قسمت قبل نیز بیان شد و نتایج آزمایش نشان می‌داد، شدت آسیب وارده به هدف و میزان نفوذ پرتابه با میزان گستردگی ناحیه آسیب نسبت عکس دارد. به عبارت دیگر در شرایط آزمایش کاملاً یکسان هر چه سطح تماس نوک پرتابه با هدف بیشتر باشد مقدار نفوذ و میزان تخریب کاهش می‌یابد.

در شکل 20 مقدار پاره شدگی در لایه آلومینیوم 2024 زیری با پرتابه با دماغه تخت، نیم کروی و مخروطی 90º نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، لایه آلومینیوم تحت نفوذ پرتابه با دماغه تخت دچار پاره شدگی و ترک نشده اما در اهداف شماره 15 و 21 که به ترتیب تحت نفوذ پرتابه با دماغه نیم‌کروی و مخروطی 90º قرار گرفتند میزان پاره شدگی به

Fig. 18 Target No.21: front side (right) and back side (left) view under the penetration of conical 90º projectile in 55J impact

شکل 18 هدف شماره 21: نمای جلو (راست) و پشت (چپ) تحت نفوذ پرتابه با دماغه مخروطی 90º در انرژی ضربه 55 J

Fig. 19 Damage zone propagation on target No.33 (flat projectile), No.15 (hemispherical projectile) and No.21 (conical 90º projectile)

شکل 19 توزیع ناحیه آسیب بر روی هدف شماره 33 (پرتابه سر تخت)، هدف شماره 15 (پرتابه سر نیم کروی) و هدف شماره 21 (پرتابه سر مخروطی 90º)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.7.56.8]

Fig. 20 Bottom layer of aluminum 2024 tear on specimen No.33 (flat projectile), No.15 (hemispherical projectile) and No.21 (conical 90° projectile) in 55J impact.

شکل 20 پارگی لایه آلومینیوم در نمونه شماره 33 (پرتابه سر تخت)، نمونه شماره 15 (پرتابه سر نیم کروی) و نمونه شماره 21 (پرتابه سر مخروطی 90°) در انرژی ضربه 55 J

ترتیب برابر با 46 mm و 41 mm است.

بنابراین، در انرژی ضربه 55 J مقدار پاره شدگی در لایه آلومینیوم تحت نفوذ پرتابه با دماغه نیم کروی بیش از پرتابه با دماغه مخروطی 90° بوده و در پرتابه با دماغه تخت نیز پاره شدگی رخ نمی‌دهد.

4-3- بررسی رفتار هدف در انرژی ضربه 70 J

در شکل 21 نمودار نیرو- زمان در پرتابه با دماغه‌های تخت، نیم کروی و مخروطی 90° در انرژی ضربه 70 J نشان داده شده است. با توجه به نمودار شکل 21 ملاحظه می‌شود که در انرژی ضربه 70 J بیشترین مقدار نیروی ضربه در پرتابه با دماغه تخت برابر با 16945 N، در پرتابه با دماغه نیم کروی 8199 N و در پرتابه با دماغه مخروطی 90° برابر 4766 N می‌باشد، لذا کمترین و بیشترین نیروی ضربه به ترتیب در پرتابه با دماغه مخروطی 90° و تخت رخ می‌دهد.

همان‌طور که در شکل 22 نشان داده شده است، لایه آلومینیوم پشتی هدف شماره 17 تحت ضربه سرعت آرام (1.75 m/s) دچار ترک طولی در امتداد ورق و تغییر شکل پلاستیک شده اما نفوذ کامل پرتابه رخ نداده است. همچنین در اثر نیروی ضربه پلاگ برشی در لایه جلویی هدف به وجود آمده است.

در نمونه شماره 20 که در شکل 23 نشان داده شده، پرتابه به طور کامل

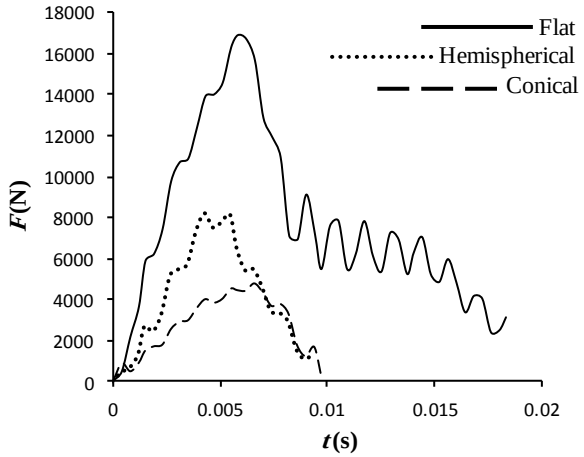

Fig. 21 Force-time curve in flat, hemispherical and conical 90° projectile in 70 J impact

شکل 21 نمودار نیرو- زمان در پرتابه با دماغه‌های تخت، نیم کروی و مخروطی 90° در انرژی ضربه 70 J

Fig. 22 Target No.17: front side (left) and back side (right) view under the penetration of flat projectile in 70J impact

شکل 22 هدف شماره 17: نمای جلو (چپ) و پشت (راست) تحت نفوذ پرتابه با دماغه تخت در انرژی ضربه 70 J

Fig. 23 Target No.20: front side (left) and back side (right) view under the penetration of hemispherical projectile in 70J impact

شکل 23 هدف شماره 20: نمای جلو (چپ) و پشت (راست) تحت نفوذ پرتابه با دماغه نیم کروی در انرژی ضربه 70 J

در هدف نفوذ کرده است.

شکل 24 نمایی از قسمت جلو و پشت هدف شماره 30 که تحت نفوذ پرتابه با دماغه مخروطی 90° قرار گرفته را نشان می‌دهد. هدف در این انرژی ضربه دچار آسیب و نفوذ کامل شده است.

در شکل 25 اندازه ناحیه آسیب بر روی سطح پشتی اهداف شماره 17، 20 و 30 که به ترتیب تحت نفوذ پرتابه با دماغه‌های تخت، نیم کروی و مخروطی 90° قرار گرفتند، نشان داده شده است.

سطح تماس نوک پرتابه با هدف در اهداف شماره 17، 20 و 30 به

Fig. 24 Target No.30: front side (left) and back side (right) view under the penetration of conical projectile in 70J impact

شکل 24 هدف شماره 30: نمای جلو (چپ) و پشت (راست) تحت نفوذ پرتابه با دماغه مخروطی در انرژی ضربه 70 J

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.7.56.8]

ترتیب برابر با 86 mm، 71 mm و 63 mm می‌باشد. بنابراین، هر چه سطح تماس نوک پرتابه با هدف کمتر می‌شود، مقدار نفوذ افزایش و اندازه ناحیه آسیب‌دیده کاهش می‌یابد.

در شکل 26 مقدار پاره شدگی در لایه آلومینیوم زیری 2024 در هدف در انرژی ضربه 70 J نشان داده شده است. در این انرژی ضربه لایه آلومینیوم در هدف شماره 17 تحت نفوذ پرتابه با دماغه تخت دچار ترکی طولی به اندازه 40 mm شده است در حالی که در اهداف شماره 20 و 30 که به ترتیب تحت نفوذ پرتابه با دماغه نیم کروی و مخروطی 90° قرار گرفتند، میزان پاره شدگی به ترتیب برابر با 30 mm و 33 mm است. بنابراین، در انرژی ضربه 70 J بیشترین مقدار پاره شدگی در لایه آلومینیوم تحت نفوذ پرتابه با دماغه تخت و کمترین مقدار نیز در پرتابه با دماغه نیم کروی رخ داده است.

در پرتابه با دماغه تخت، از آنجایی که سطح بیشتری از نوک پرتابه با هدف درگیر است، پرتابه می‌بایست انرژی بیشتری را برای نفوذ در هدف صرف کند و سطح بیشتری از هدف آسیب می‌بیند، اما در پرتابه با دماغه مخروطی 90° و نیم کروی تمرکز تنش بیشتری در نوک پرتابه وجود دارد و لذا هدف در محل اعمال ضربه فوراً دچار آسیب شده و سطح ناحیه آسیب نیز کاهش می‌یابد و بر همین اساس مقدار پاره شدگی در لایه آلومینیوم نیز کمتر رشد می‌کند.

5-3- نمودار انرژی- زمان

در شکل 27 نمودار انرژی جذب شده توسط هدف برحسب زمان برای پرتابه‌ها با در انرژی‌های ضربه 40 J، 55 J و 70 J نشان داده شده است. هدف تحت نفوذ پرتابه با دماغه تخت و مخروطی 90° به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار انرژی را جذب کرده‌اند. در پرتابه با دماغه تخت اندازه ناحیه آسیب‌دیده بیشتر است و بخش زیادی از انرژی صرف تغییر شکل این ناحیه می‌شود. بنابراین، هدف در انرژی‌های ضربه بالاتری نسبت به پرتابه‌های دیگر دچار

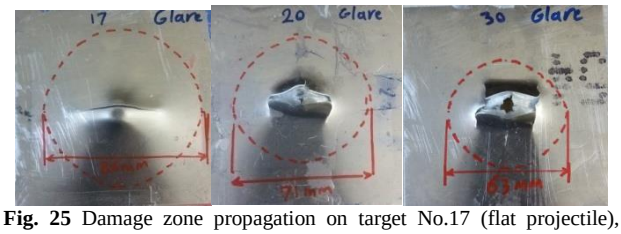

Fig. 25 Damage zone propagation on target No.17 (flat projectile), No.20 (hemispherical projectile) and No.30 (conical projectile)

شکل 25 توزیع ناحیه آسیب بر روی هدف شماره 17 (پرتابه سر تخت)، هدف شماره 20 (پرتابه سر نیم کروی) و هدف شماره 30 (پرتابه سر مخروطی 90°)

Fig. 26 Bottom layer of aluminum 2024 tear on specimen No.17 (flat projectile), No.20 (hemispherical projectile) and No.30 (conical projectile) in 70J impact.

شکل 26 میزان پاره شدگی لایه پایینی آلومینیوم در نمونه 17 (پرتابه سر تخت)، نمونه 20 (پرتابه سر نیم کروی) و نمونه 30 (پرتابه سر مخروطی 90°) در انرژی ضربه 70 J

نفوذ کامل می‌شود و انرژی بیشتری را قبل از سوراخ‌شدن جذب می‌کند. در پرتابه با دماغه مخروطی 90° و نیم کروی با وجود کاهش نیروی ضربه اما تنش در محل برخورد افزایش می‌یابد و اندازه ناحیه آسیب‌دیده کوچکتر است. بنابراین، با انرژی کمتری لایه‌ها شکسته شده و هدف دچار نفوذ کامل می‌شود. بنابراین، هدف انرژی کمتری را جذب می‌کند.

بر اساس ضریب بازگشت پذیری انرژی[1] $ERC=1-(U_{absorbed}/U_{impact})$ اگر انرژی جذب شده در هدف بعد از اعمال ضربه با انرژی پرتابه برابر باشد، ضریب بازگشت پذیری انرژی برابر با صفر می‌شود و هدف دچار تغییر شکل کاملاً پلاستیک می‌شود. اگر انرژی جذب شده در جسم بعد از اعمال ضربه برابر با صفر باشد یعنی نمونه در اثر ضربه هیچ گونه انرژی جذب نکرده و برخورد کاملاً الاستیک بوده است. وضعیت بین این دو حالت، تغییر شکل الاستیک – پلاستیک هدف می‌باشد.

در انرژی ضربه 40 J در پرتابه تخت ضریب بازگشت پذیری انرژی بیشتر از پرتابه نیم کروی و مخروطی 90° است. با توجه به شکل 27، هدف تحت نفوذ پرتابه با دماغه تخت ابتدا کل انرژی پرتابه را جذب کرده و در ادام 10 J آن را آزاد می‌کند. هدف تحت نفوذ پرتابه سر نیم کروی بعد از اعمال ضربه 40 J به اندازه‌ای به حالت اولیه خود باز می‌گردد که مقدار 39 J انرژی را در خود جذب می‌کند، بنابراین برخورد تقریباً پلاستیک است. در پرتابه با دماغه مخروطی 90° نیز هدف قبل از جذب مقدار کل انرژی پرتابه، با جذب 30 J انرژی دچار نفوذ کامل شده و تغییر شکل کاملاً پلاستیک می‌دهد.

در انرژی ضربه 55 J با پرتابه سر تخت، هدف ابتدا مقدار کل انرژی را جذب می‌کند، اما بعد از اعمال ضربه به مقداری به حالت اولیه خود باز می‌گردد که مقدار نهایی انرژی جذب شده در آن به 40 J برسد. بنابراین، ناحیه برخورد دچار تغییر شکل الاستیک-پلاستیک می‌شود. در پرتابه سر نیم کروی و سر مخروطی 90° ضریب بازگشت پذیری انرژی صفر می‌باشد، بنابراین ناحیه برخورد تغییر شکل کاملاً پلاستیک می‌دهد و نفوذ کامل اتفاق می افتد.

در انرژی ضربه 70 J با پرتابه سر تخت، هدف ابتدا کل مقدار انرژی را جذب کرده، سپس به اندازه‌ای به حالت اولیه خود باز می‌گردد که مقدار نهایی انرژی جذب شده در آن به 65 J می‌رسد. این نتیجه نشان می‌دهد که هدف تا مرز نفوذ کامل پیش رفته اما به طور کامل سوراخ نشده است. در پرتابه با دماغه نیم کروی و مخروطی 90° ضریب بازگشت پذیری انرژی صفر می‌باشد و مقدار انرژی جذب شده توسط هدف به ترتیب به 46 J و 33 J

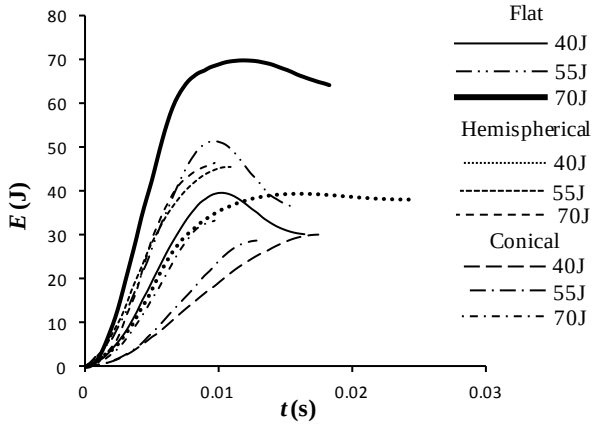

Fig. 27 Absorbed Energy-time curve for projectiles

شکل 27 نمودار انرژی جذب‌شده- زمان برای پرتابه‌ها

[1] Energy restitution coefficient

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.7.56.8]

است، بنابراین در این اهداف نفوذ کامل رخ می‌دهد.

4- نتیجه‌گیری

در این تحقیق تاثیر شکل دماغه پرتابه‌های تخت، مخروطی و نیم کروی بر روی گلر نوع 3 به صورت تجربی بررسی شد. همچنین، میزان مقاومت به ضربه گلر، اندازه ناحیه آسیب‌دیده، میزان جذب انرژی و غیره مورد مطالعه قرار گرفتند.

بررسی نتایج نشان دادند هر چه سطح ناحیه آسیب افزایش یابد، پرتابه باید انرژی بیشتری را برای نفوذ کامل در هدف صرف کند و چون در دماغه‌های با سطح تماس بیشتر، قسمت عمده انرژی ضربه صرف تغییر شکل پلاستیک در ناحیه اطراف محل برخورد می‌شود، بنابراین برای سوراخ‌شدن هدف نیاز به انرژی بیشتری است.

از آنجایی که سطح تماس پرتابه با دماغه تخت نسبت به سایر پرتابه‌ها بیشتر است، حداکثر نیروی ضربه افزایش می‌یابد اما مقدار تمرکز تنش کاهش پیدا می‌کند و پرتابه به نیروی بیشتری برای نفوذ کامل نیاز دارد. به همین علت نیز در تمام نمونه‌هایی که تحت نفوذ پرتابه با دماغه تخت قرار گرفتند علی رغم اینکه مقدار حداکثر نیروی ضربه نسبت به سایر پرتابه‌ها بیشتر است، اما نفوذ کامل رخ نمی‌دهد.

نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار تخریب در اهداف، به ترتیب در پرتابه مخروطی 90° و تخت به وجود می‌آید. در نمونه‌های شماره 21، 30 و 37 که تحت نفوذ پرتابه مخروطی 90° قرار گرفتند نفوذ کامل پرتابه مشاهده شد. درنمونه‌های شماره 27، 33 و 17 نیز که تحت نفوذ پرتابه تخت قرار گرفتند، نفوذ کامل رخ نداد. همچنین در نمونه‌های شماره 15 و 20 با پرتابه سر نیم کروی نفوذ کامل پرتابه ملاحظه گردید.

همچنین، بررسی نتایج نشان دادند که هدف تحت نفوذ پرتابه با دماغه تخت و مخروطی 90° به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار انرژی را در خود جذب می‌کند. بنابراین، با افزایش سطح تماس برخورد، پرتابه به انرژی ضربه بیشتری برای نفوذ کامل در هدف نیاز دارد. از طرف دیگر، هر چه سطح تماس نوک پرتابه با هدف بیشتر می‌شود، مقدار جابجایی پرتابه در هدف کاهش می‌یابد. همچنین، ضریب بازگشت پذیری انرژی در پرتابه با دماغه تخت نسبت به پرتابه با دماغه مخروطی 90° و نیم کروی بیشتر می‌باشد.

5- مراجع

[1] J. Fan, W. J. Cantwell, Z. W. Guan, The low-velocity impact response of fiber-metal laminates, *Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 30, No. 1, pp. 26-35, 2011.

[2] N. Tsartsaris, M. Meo, F. Dolce, U. Polimeno, M. Guida, F. Marulo, Low-velocity impact behavior of fiber metal laminates, *Journal of Composite Materials*, Vol. 45, No. 7, pp. 803-814, 2011.

[3] H. Y. Choi, H. S. Wang, F. K. Chang, Effect of laminate configuration and impactor's mass on the initial impact damage of graphite/epoxy composite plates due to line loading impact, *Journal of Composite Materials*, Vol. 26, No. 6, pp. 804-827, 1992.

[4] F. Mili, B. Necib, The effect of stacking sequence on the impact-induced damage in cross-ply E-lass/epoxy composite plates, *Archive of Applied Mechanics*, Vol. 79, No. 11, pp. 1019-1031, 2009.

[5] F. K. Chang, H. Y. Choi, S. T. Jeng, Characterization of impact damage in laminated composites, *SAMPE Journal*, Vol. 26, No. 1, pp. 18-25, 1990.

[6] H. Y. Choi, R. J. Downs, F. K. Chang, A new approach toward understanding damage mechanisms and mechanics of laminated composites due to low-velocity impact: part I-experiments, *Journal of Composite Materials*, Vol. 25, No. 8, pp. 992-1011, 1991.

[7] S. A. Hitchen, R. M. J. Kemp, The effect of stacking sequence on impact damage in a carbon fiber/epoxy composite, *Composites*, Vol. 26, No. 3, pp. 207-214, 1995.

[8] T. Mitrevski, I. Marshall, R. Thomson, R. Jones, B. Whittingham, The effect of impactor shape on the impact response of composite laminates, *Composite Structures*, Vol. 67, No. 2, pp. 139-148, 2005.

[9] H. Sabouri, *The experimental, analytical and numerical investigation of flat projectiles penetration process on asymmetrical glares*, PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, 2011. (in Persian فارسی)

[10] N. Alem, M. Perry, Design of digital low-pass filters for time-domain recursive filtering of impact acceleration signals, USAARL, Fort Rucker, Alabama, Rep. 95-13, 1995.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.7.56.8]