

روند توسعه تکنولوژی پیشرانه‌ها و خرج‌های پرتاب جامد جهت استفاده در سیستم‌های تفنگی

امین حسینی کمشوری^{*}

تهران - سازمان صنایع دفاع

*E-mail: Amir_sepehr84@yahoo.com

(تاریخ وصول: ۸۹/۴/۱۱، تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/۲۳)

چکیده

با توجه به اینکه پیشرانه‌های جامد مرسوم، مورد استفاده در سیستم‌های تفنگی تقریباً از لحاظ شرایط انرژی به حد اشباع خود رسیده‌اند و دستیابی به سرعت دهانه بالاتر از (2000 m/s) از این سیستم‌های جامد ممکن نیست بنابراین بهبود در کارایی بالستیکی سلاح‌ها، با این پیشرانه‌ها و فنآوری‌های مرسوم تولید آنها، بیش از یک حد مشخص مقدور نمی باشد، لذا بهبود در کارایی بالستیکی سیستم‌های تفنگی نیازمند ایجاد فنآوری‌های نوین و طراحی سیستم‌های پیشرانه‌ای یا شارژهای پیشرانه‌ای جدیدتر می باشد. در این مقاله روند توسعه فنآوری‌های جدید ایجاد شده در دنیا، با پیشرانه‌های موجود یا سیستم‌های پیشرانه‌ای جدیدتر، جهت دستیابی به اهدافی مانند انرژی سینتیکی بالاتر، بهبود در کارایی بالستیکی سلاح‌ها، توسعه سیستم‌های پیشرانه‌ای ایمن تر و سازگارتر با محیط زیست، کاهش هزینه های تولید، و... تشریح شده است.

واژه‌های کلیدی: پیشرانه‌های یکپارچه سازی شده، پیشرانه‌های چند لایه‌ای، پیشرانه‌های فومی، خرج‌های بیس بلید، خرج‌های مدولار، پوک‌های سوزشی، پیشرانه‌های LOVA، پیشرانه‌های EI.

۱- مقدمه

سوزشی، افزایش دانسیته بارگیری شارژ، دستیابی به انرژی سینتیکی بالاتر، تهیه مهمات با حساسیت کمتر، به حداقل رساندن احتمال آغازش ناخواسته، دقت بیشتر در تخریب هدف، سازگاری بیشتر با محیط زیست، غیر سمی بودن، تنظیم میزان روند افزایش سرعت سوزش و همچنین اثر پارامترهای ترمودینامیکی پیشرانه (مانند اکسیژن بالانس و آنتالپی تشکیل، که در دمای احتراق، انرژی ویژه، حرارت انفجار و تشکیل گاز از پیشرانه، تاثیر می گذارند) در انرژی

به طور کلی فنآوری‌های جدید فراهم کننده پیشرانه‌ها، یا شارژهای پیشرانه‌ای جامد تفنگی، چهارچوبی را برای توسعه خواص ساختاری و مفید پیشرانه‌ها یا شارژهای پیشرانه تفنگ قرار می دهند. در این چهارچوب جدا از بهبود کارایی بالستیکی و دمای شعله پائین‌تر، نیازهایی همچون تولید و انبارداری ایمن، کم آسیب‌پذیر بودن در مقابل عوامل ناخواسته، تعدیل سرعت سوزش (مناسب کردن خواص

برخی از مهمات، کاهش وزن مهمات، افزایش دانسیته شارژ (در حجم ثابت مقدار بیشتری پیشرا نه قرار می‌گیرد) برای مهمات دارای پوکه، افزایش نواخت تیر سلاح‌ها، افزایش کارایی بالستیکی سلاح، کاهش قیمت تولید مهمات و کاهش اندازه گلوله دست پیدا کرد [۵ و ۴].

پیش فرم دهی یا یکپارچه سازی شارژهای پیشرا نه، مطابق با روشهای شناخته شده متعددی صورت می‌گیرد که از مهم‌ترین این روشها می‌توان روش‌های قالب گیری خشک، قالب‌گیری مرطوب و روشهای جدید استفاده از اکسترودر را نام دارد.

۲-۱- روش‌های قالب گیری مرطوب

در این روش‌ها شارژهای یکپارچه شده به وسیله اختلاط اولیه دانه‌های پیشرا نه منفرد با یک حلال یا محلول باینردی تهیه می‌شوند سپس توده پیشرا نه و حلال در داخل یک قالب مناسب برای فرم دهی شارژ جامد فشرده می‌شدند و در نهایت خشک شده و در مهمات مورد نظر مورد استفاده قرار می‌گرفتند. در سال‌های اخیر استفاده از این روش‌ها برای یکپارچه سازی شارژهای پیشرا نه به دلیل معایب عمده‌ای که دارند منسوخ شده است. از جمله مهم‌ترین معایب این روش می‌توان موارد زیر را ذکر نمود.

- تجهیزات مخلوط‌کردن و قالب‌گیری پیشرا نه و حلال به ویژه با بخش‌هایی از پیشرا نه که حل شده است و به شدت چسبنده است آغشته می‌شود و پس از هر بار قالب گیری شارژ پیشرا نه این تجهیزات بایستی تمیز شده و دوباره برای دوره بعدی و تکرار فرآیند، مورد استفاده قرار گیرند.

- تغییر در سهم نسبی حلال و حل شونده: کنترل میزان دقیق حلالی که در شارژ پیشرا نه یکپارچه سازی شده باقی می‌ماند خیلی مشکل است زیرا مقدار ترک حلال در طول فرآیند قالب‌گیری از هر شارژ به شارژ دیگر متغیر می‌باشد و در نتیجه سرعت سوزش محصول نهایی به مقدار زیادی از یک شارژ یکپارچه شده به شارژ دیگر، به مقدار حلال باقی مانده در شارژ وابسته است.

- در فرآیند پرس مرطوب زمان زیادی برای قالب گیری شارژ پیشرا نه صرف می‌شود.

- در تولید شارژهای پیشرا نه یکپارچه غیر یکنواختی زیادی مشاهده می‌شود.

- کنترل وزن شارژ پیشرا نه قالب گیری شده مشکل است.

خروجی و دستیابی به سرعت دهانه مورد نیاز در نظر گرفته شده است. جهت دستیابی به اهداف مذکور تولید کنندگان پیشرا نه در دنیا به فناوری‌هایی مانند تولید پیشرا نه‌ها با استفاده از تولید ساختارهای دانه‌ای جدید (یکپارچه سازی پیشرا نه‌ها و هم لایه کردن مواد پیشرا نه‌ای)، جایگزینی پوکه‌های فلزی متداول و کیسه‌های پارچه‌ای با مواد قابل احتراق (تهیه شارژهای مدولار و پوکه‌های سوزشی)، افزایش برد گلوله به وسیله بهبود دادن دراگ پایه^۱ در طول حرکت مرمی (تهیه خرج‌های بیس بلید)، توسعه سیستم‌های ایمن تر، ساده تر و با آسیب پذیری کمتر تحت شرایط انبارداری (تهیه پیشرا نه‌های با آسیب پذیری کم)، تهیه پیشرا نه‌های آغشته شده اکسترودی و تهیه پیشرا نه‌های با ضریب تاثیر پذیری پایین از دما روی آورده‌اند. در این مقاله خلاصه‌ای از این فناوری‌های ایجاد شده یا در حال ایجاد ذکر می‌شود.

۲-۲- پیشرا نه‌های یکپارچه سازی شده

شارژهای پیشرا نه یکپارچه‌سازی شده^۲ (یک‌تکه) شارژهایی هستند که از به هم چسپاندن دانه‌های پیشرا نه‌های جامد گرانولی یک، دو یا سه پایه با شکل هندسی مشخص (کروی، استوانه ای و ...) در حضور یک حلال یا محلول مناسب برای حلال پوشی، دانه‌های پیشرا نه، در یک قالب مناسب و تحت فشار تهیه می‌شوند. بطور کلی فرآیند یکپارچه سازی شارژهای پیشرا نه شامل به کارگیری یک حلال یا مایع برای مقدار مناسبی از یک توده پیشرا نه با شکل هندسی مشخص، ریختن پیشرا نه مرطوب شده با حلال در یک پرس قالب گیری، پرس کردن مخلوط پیشرا نه و حلال موجود در قالب، تحت یک فشار مشخص و در زمان معین و در نهایت تهیه پیشرا نه‌های متراکم شده دارای چگالی بالا متناسب با قالب و مهمات مورد نظر می‌باشد. شارژهای پیشرا نه متراکم شده و یکپارچه سازی شده بدست آمده برای استفاده در پوکه‌ها و به ویژه پوکه‌های مهمات تلسکوپی^۳ و یا مهمات بدون پوکه مناسب می‌باشند که منجر به افزایش دانسیته شارژ و افزایش کارایی سلاح می‌شوند [۳-۱].

به طور کلی با یکپارچه‌سازی شارژهای پیشرا نه در مهمات مورد استفاده در یک سلاح می‌توان به اهداف ذیل شامل، حذف پوکه در

1- Base Drag
2- Consolidated Propellant
3- Cased Telescoped Ammunition (CTA)

- حلال مورد استفاده در این فرآیند اغلب اشتعال پذیر است [۳].

۲-۲- فرآیندهای یکپارچه سازی خشک

در این فرآیندها با توجه به کارایی بالستیکی مطلوب برای پیشرانه مورد نظر، مخلوطی از دانه‌های پیشرانه و میکروکپسول‌های پر شده با حلالها یا بایندهای مناسب جهت حلال پوشی، دانه‌های پیشرانه، در یک قالب فرم دهی که مطابق با پوکه مهمات مورد نظر طراحی می شود ریخته می‌شوند. سپس این مخلوط تحت فشار کافی برای از هم گسیختن میکروکپسولهای حاوی حلال یا بایندها، قرار می‌گیرد حلال یا بایندها خارج شده از میکروکپسولها سطح دانه‌ها را حداقل به مقدار ناچیزی حل کرده و مرطوب می‌نماید. و سطح دانه‌های پیشرانه تحت فشار موجود به هم متصل می‌شود و شارژ یکپارچه سازی شده به صورت مطلوبی شکل داده می‌شود. پس از آن مخلوط در قالب فرم دهی به مدت زمان کافی برای خود نگه داری^۱ شارژ پیشرانه فرم داده شده، باقی می‌ماند. و در نهایت شارژ پیشرانه از قالب فرم دهی خارج شده و جهت حفظ شرایط فیزیکی به وسیله قرار دادن در معرض حرارت مانند استفاده از یک آون، خشک می‌شود و سپس در داخل پوکه مهمات مورد نظر قرار می‌گیرد ویا برای سلاحهای جدید بدون پوکه با مرمی مطابقت داده می شود [۱،۲].

۲-۳- فرآیندهای یکپارچه سازی حرارتی

در فرآیندهای یکپارچه سازی حرارتی از یک اکسترودر استفاده می‌شود و طی آن دانه‌های پیشرانه با یک بایندها حرارتی فعال به هم چسبانده می‌شوند. بایندها مذکور می‌تواند پُرانرژی باشد تا منجر به بهبود فرآیند احتراق پیشرانه شود و یا اینکه خنثی باشد تا فرآیند احتراق را تعدیل کند. از مزایای دیگر این تکنولوژی نسبت به روشهای قدیمی‌تر مورد استفاده جهت یکپارچه سازی شارژهای پیشرانه این است که در این فرآیند از شکستن دانه‌های پیشرانه در طول فرآیند یکپارچه سازی حرارتی جلوگیری می‌شود. مطابق با این تکنولوژی شارژهای پیشرانه یکپارچه سازی شده متفاوتی برای تعدادی از سلاحهای کالیبر کوچک تا بزرگ با پوکه یا بدون پوکه به مرحله تولید

صنعتی رسیده است [۶]. در شکل ۱ دو نمونه از پیشرانه‌های یکپارچه سازی شده نشان داده شده است.



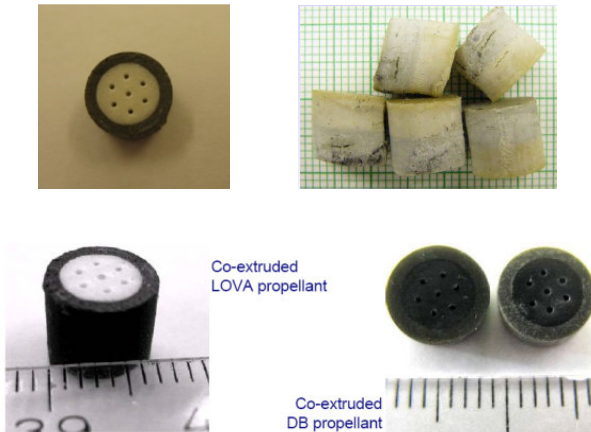
شکل ۱- نمونه هایی از پیشرانه‌های یکپارچه سازی شده [۶]

۳- پیشرانه‌های چند لایه ای

پیشرانه‌های تفنگی چند لایه^۲ نوعی پیشرانه به شکل قرصی، لایه‌ای هستند که از لایه‌های مواد پُرانرژی با سرعت سوزش متفاوت تشکیل شده‌اند و یا به عبارت بهتر هر یک از لایه‌ها یک ظرفیت سوزشی ویژه دارند. معمولاً این پیشرانه‌ها دارای سرعت سوزشی آرام در خارجی ترین لایه و سوزش سریع در داخلی‌ترین لایه می باشند لایه‌های ما بین این دو لایه نیز در صورت وجود سوزش معتدلی دارند [۷]. پیشرانه‌های مذکور اصطلاحاً به پیشرانه‌های هسته سریع^۳ نیز معروف هستند. مزیت مفهوم هسته سریع این است که در ابتدای شروع سیکل بالستیکی و قبل از اینکه مرمی به اندازه کافی حرکت کند ابتدا حجم پایینی از گاز به وسیله لایه با سرعت سوزش پایین تولید می شود بنابراین در مراحل اولیه فشار تولید شده، از ماکزیمم فشار قابل تحمل به وسیله سلاح، عبور نمی‌کند هر چند که مرمی، یکباره شروع به حرکت می‌کند و حجم در دسترس، برای گسترش گازهای حاصل از پیشرانه افزایش می‌یابد اما هسته مرکزی تند سوز داخلی مقدار بیشتری از گاز را برای نگهداری عملکرد متضاد مرمی جهت بهبود کارایی کلی که با یک ماده دارای سرعت سوزش یکنواخت دست یافتنی است، فراهم می کند [۸]. به عبارت دیگر در این ساختار لایه‌ای، یک افزایش ناپیوسته در سرعت تولید گاز تا زمانی که لایه مرکزی پیشرانه پس روی^۴ می‌کند، رخ می‌دهد [۷].

2- Co-Layerd propellant
3- Fast core
4- Regression

1- Self supporting



شکل ۳- نمونه هایی از پیشرا نه‌های دوپایه و کم آسیب پذیر که به صورت لایه ای در آمده‌اند [۱۵و۱۲].

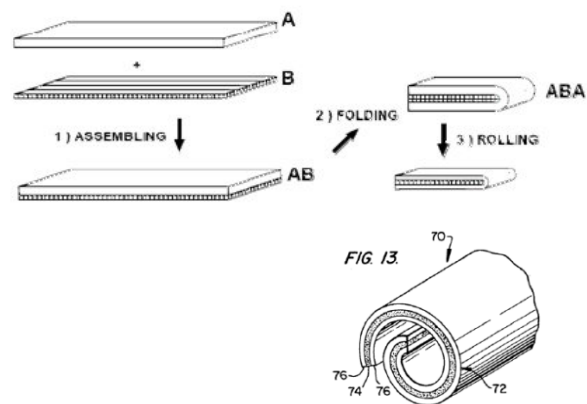
۴- خرج‌های بیس بلید

سیستم‌های بیس بلید^۴ مورد استفاده در گلوله‌های مهمات تفنگی، واحدهایی هستند که در اثر احتراق آنها جریان گاز تولید شده در فضای پشت مرمی به حرکت در می آید اثر این نوع حرکت، جریان گازی است که سبب کاهش افت فشار در مسیر حرکت مرمی می‌شود به عبارت دیگر ممانعت هوا در سطح پایه مرمی به وسیله روشی که عمل بیس بلید نامیده می شود کاهش می یابد که نتیجه آن افزایش برد مرمی به وسیله کاهش دادن دراگ پایه است.

به طور کلی خرج‌های بیس بلید نوعی سوخت کامپوزیتی (سوخت جامد مرکب) حاوی، یک عامل اکسید کننده مانند پرکلرات آمونیوم به عنوان تامین کننده اکسیژن و منبع اصلی ایجاد گاز در سوخت که ۷۰-۶۰ درصد وزنی سوخت را تشکیل می‌دهد، یک عامل احیاء کننده فلزی مانند پودر آلومینیم به عنوان منبع اولیه انرژی حرارتی که ۲۰-۱۰ درصد وزنی سوخت را تشکیل می‌دهد، ۲۰-۱۰ درصد مابقی سوخت نیز از یک بایندر پلیمری پلی ال مانند پلی اکسی پروپیلن گلیکول، یک عامل ایجاد اتصال بین زنجیره‌های پلیمری مانند گلیسرین مونو ریسینولات^۵، تولوئن دی ایزو سیانات، فربک استیل استونات، دی اکتیل فتالات، دی فنیل آمین، کوپر کرومیت و... تشکیل شده است که نقش‌هایی مانند نگهداری اجزاء موجود در سوخت، بهبود دهنده خواص بالستیکی، مکانیکی، رئولوژیکی، فرآیند پذیری و

به طور کلی پیشرا نه‌های چند لایه ای منجر به بهبود کارایی سلاح به وسیله افزایش ایمپالس مرمی، کاهش فرسایش ناشی از پیشرا نه‌های پرتانژی (کاهش خوردگی لوله سلاح)، بهبود رفتار افروزشی و بهبود حساسیت در پیشرا نه‌ها (مانند پیشرا نه‌های کم آسیب پذیر)، ایجاد رفتار سوزشی صعودی در پیشرا نه‌ها، دستیابی به سرعت دهانه بالاتر برای یک مرمی مشخص بدون افزایش در ماکزیمم فشار به کار برده شده در محفظه احتراق سلاح و افزایش کارایی صفحات پیشرا نه در مقایسه با پیشرا نه‌های گرانولی منظم چند سوراخه می شوند [۷و۹و۱۰]. این بهبود از یک تغییر ساختار در دانه پیشرا نه جهت به تاخیر انداختن سوزش نهایی دانه، ناشی می‌شود.

تاخیر ذکر شده تا زمانی رخ می دهد که سطح خارجی دانه در امتداد طولش، به اندازه کافی برای چاک^۱ دانه‌ها در داخل بخش‌های چند گانه و در یک گشتاور برنامه ریزی شده تا زمانی که سطح سوزش افزایش می‌یابد، بسوزد [۷]. پیشرا نه‌های لایه‌ای را می‌توان طی فرآیند اکستروژن لایه‌ای^۲ و یا به وسیله پرس‌های هیدرولیکی مجهز به قالب‌های ویژه به شکلهای دیسکی یا صفحات رول شده^۳ و یا گرانول‌های لایه ای سوراخ دار تهیه نمود [۸و۱۴-۱۱]. سوراخ‌های مذکور که حداقل در یکی از لایه‌ها ایجاد شده و در طول دانه کشیده شده اند باعث افزایش سرعت تولید گاز و افزایش سطح سوزش دانه به لحاظ ژئومتری می شوند و در نهایت سوزش مورد نظر را در دانه ایجاد می کنند [۷].



شکل ۲- شرح تصویری تولید یک پیشرا نه چند لایه [۷].

4- Base Bleed
5- Glycerine Monoricinoleate

1- Split
2- Co-Extrusion
3- Rolled Scroll

زیرا بعضی از این خرج‌ها پیچیده و غیر صلب هستند این امر باعث انحرافات قابل توجهی در ارتباط اجزاء، بویژه در نظم و ترتیب احتراق می‌شود که منجر به مشکلات جدی در کارایی سلاح می‌گردد.

استفاده از پوک‌های سوزشی منجر به ایجاد مزایای مانند ابعاد قابل کنترل تا تیرانس ۲/۵ م.م، طرح سیستم احتراق ساده، سازگاری بیشتر با خرج گذاری اتوماتیک و مکانیسم لوله توپ متحرک، کنترل کیفیت آسانتر، آسانتر شدن فرآیند تولید خرج‌گذاری و مونتاژ و بسته بندی، کاهش فرسایش و خوردگی لوله سلاح (این پوک‌ها می‌تواند به مانند یک استری جهت کاهش فرسایش عمل نماید) می‌شود.

روش تهیه پوک‌های سوزشی جهت استفاده در خرج‌های مدولار عمل فلتینگ^۲ (قالب‌گیری خمیر^۳ یا قالب‌گیری الیاف^۴) می‌باشد که شامل ریخته‌گری و رسوب سوسپانسیون سلولزی- نیتروسولولزی است که بر روی قالب نفوذ پذیر مایع در یک دوغاب آبکی حاوی نیتروسولولز، سلولز و یک رزین صورت می‌گیرد. پس از تهیه نمونه خام اجزاء کیس بطور متناوب فشرده می‌شود و مشخصات ویژه دیگر به آنها داده می‌شود.

بطور خلاصه در این فرآیند الیاف و رزین‌های امولسیون در مقدار زیادی آب پراکنده شده و بصورت اسلاری در می‌آیند آنگاه به یک مخزن ذخیره پمپ شده و در آنجا بطور مضاعف تا حدود ۳-۲/۵ درصد مواد جامد رقیق می‌گردند. این مخلوط تحت همزدن ملایم و ثابت به یک تانک خیلی کوچکتر منتقل شده که در آنجا شکل‌دهی اولیه یا فلتینگ صورت می‌پذیرد [۲۰].

قالب فلتینگ شامل یک سیلندر فلزی طراحی شده، توخالی و سوراخ‌دار است که با یک صفحه پوشیده شده است. یک خط خلاء به داخل قالب متصل می‌شود. آنگاه قالب در داخل تانک فلتینگ پائین آمده و خلاء برقرار می‌شود. بوسیله ایجاد خلاء، آب از قالب زهکشی شده و الیاف و رزین روی یک غربال رسوب می‌کنند.

بعد از یک زمان قالب از تانک فلتینگ بالا آمده و خلاء ادامه می‌یابد تا اینکه آب خارج گردد. آنگاه خلاء قطع شده و یک فشار ملایم و سریع به داخل قالب اعمال می‌شود. این فشار به تدریج افزایش یافته و سبب می‌شود که پیش‌فرم تشکیل شده به آسانی از قالب جدا شود.

افزایش طول عمر سوخت، ایجاد خصوصیات الاستیکی، نرم‌کنندگی، پایدار کردن و روان کردن سوخت و در برخی موارد عامل مولد گاز و انرژی را برعهده دارند. در فرآیند تولید این سوخت‌ها یک واکنش شیمیایی بین اجزاء سازنده ماتریس پلیمری یعنی بایندر پلیمری پلی ال، عامل اتصال دهنده عرضی و ایزوسیانات موجود، جهت تشکیل ماتریس مذکور رخ می‌دهد و ذرات اکسیدایزر با دانه بندی متفاوت به همراه سایر افزودنی‌ها در فاز پلیمری قرار می‌گیرند [۱۸-۱۶]. نمونه-ای از این نوع سوخت‌های کامپوزیتی در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴- نوعی سوخت کامپوزیتی طراحی شده برای خمپاره ۱۲۰ موشکی.

۵- خرج‌های چند تکه^۱، پوک‌های سوزشی و نیترو فیلم‌ها

۵-۱- خرج‌های مدولار

خرج‌های مدولار، سیستم‌هایی هستند که از زیر سیستم‌های کوچک و نسبتاً مستقل شامل، پوک‌های سوزشی، پیش‌ران متداول و چاشنی تشکیل شده‌اند. پوک‌های سوزشی محصولاتی جایگزین برای خرج‌های کیسه‌ای مرسوم هستند که به طور متداول در سیستم‌های توپخانه‌ای ۱۵۵ م.م، ۱۷۵ م.م و ۸ اینچی که با بارگذاری منفرد مهمات سازگار هستند، به کار می‌روند. توسعه تکنولوژی استفاده از پوک‌های سوزشی در ۱۰ سال اخیر اتفاق افتاده است علت اصلی گرایش به سمت این فناوری این بوده است که خصوصیات ذاتی خرج‌های کیسه‌ای مرسوم، می‌تواند سبب ایجاد اشکالاتی در کارایی سلاح شود

2- Felting
3- Pulpmolding
4- Molded fibers

1- Modular charge

کرده است و پوکه از جنس نایلون که به وسیله سلولوئید پوشش داده شده، جهت دستیابی به استحکام بالاتر و خواص مکانیکی و ترموپلاستیکی مناسب تهیه شده‌اند.

مزایای ظروف مذکور نسبت به سیستم‌های پارچه‌ای متداول این است که خرج‌های پرتاب تهیه شده از این ظروف براحتی توسط کاربر روی مهمات مونتاژ می‌شوند، شارژ کردن این ظروف با خرج‌های کرومی یا پولکی به آسانی انجام می‌شود، ظرفیت تولید کارخانه به نحوه چشمگیری افزایش می‌یابد و ساختار سوزش خرج با بهره‌گیری از این ظروف محترقه اصلاح می‌شود.

به طور کلی در فرآیند تولید این ظروف، ابتدا در یک میکسر مجهز به ژاکت آبگرم نیتروسولولز با درصد ازت ۱۱/۱-۱۰/۷، کافور، دی فنیل آمین و اتانول و در صورت نیاز افزودنی‌های دیگر مانند رنگینه‌ها (پیگمنتها) مخلوط شده و سپس خمیر تهیه شده به یک فیلتر پرس فشار بالا که مجهز به سیلندر ژاکت دار، فیلتر توری و پارچه‌ای انتهایی است ارسال می‌گردد در این پرس ناخالصی‌های نامحلول خمیر گرفته شده و خمیر عبور کرده از فیلتر در یک مخزن مناسب در زیر فیلتر ذخیره می‌شود سپس این خمیر به مخلوط کن و یا نوردهای گرم جهت جداسازی حلال ارسال می‌گردد و مجدداً به نورد دیگری ارسال می‌شود در این نورد ورقه‌هایی به ضخامت سه چهارم اینچ که با سایز مناسب بریده می‌شوند تولید می‌گردد ورق‌های بریده شده در پرس گرم استحکام یافته و با سرد شدن آنها یک بلوک سلولوئید بدست می‌آید سپس بلوک مذکور با برش در یک دستگاه مخصوص به ورق‌هایی به ضخامت ۰/۰۵ تا ۰/۵ تبدیل می‌گردد. و در نهایت این ورق‌ها به شکل دلخواه در آمده و بسته به ضخامت ورق به مدت زمان مشخص جهت خارج کردن حلال باقی مانده در محدوده دمایی 35°C درجه سانتی گراد خشک می‌شوند و آماده استفاده می‌گردند [۱۲]. در شکل ۶ نمونه‌ای از پوکه‌های سلولوئیدی و نیتروفیلیم‌ها آورده شده است.



شکل ۶- انواعی از پوکه‌های سلولوئیدی و نیتروفیلیم‌ها [۱۲]

آنگاه این پوکه مجدداً خشک شده و پخت می‌گردد [۱۲، ۱۹، ۲۰]. در شکل ۵ نمونه‌ای از پوکه‌های مدولار قابل احتراق، که برای سیستم‌های توپخانه‌ای طراحی شده است، نشان داده شده است.



شکل ۵- نوعی پوکه مدولار قابل احتراق طراحی شده برای سیستم‌های

توپخانه‌ای [۱۲].

۵-۲- پوکه‌های سلولوئیدی و نیتروفیلیم‌ها

پوکه‌های سلولوئیدی و نیتروفیلیم‌ها ظروف ترموپلاستیکی کلئیدی، پراورزی هستند که از نیتروسولولز و کافور تهیه می‌شوند این ظروف در انگلستان به نامهای پارکسین^۱ و زیلونیت^۲ و در آمریکا به نام پیرالین^۳ نیز موسوم هستند همچنین از اسامی دیگر این ظروف می‌توان ویسکولئید و فیبرولئید را نام برد.

این ظروف که به اشکال مختلف دیسکی، قالبی، قرصی، نعلی و ... تهیه می‌شوند، کاربردهای گسترده‌ای در صنایع نظامی و تجاری پیدا کرده‌اند. از کاربردهای نظامی این ظروف می‌توان استفاده از آنها در تهیه ظروف نعلی شکل خرج‌های خمپاره برای تهیه مهمات خمپاره‌های ۶۰mm، ۸۱mm، ۱۲۰mm میلی متری، ظروف وسایل پیروتنیکی و تهیه خرج پرتاب‌های روکش شده با نیتروسولولز با قابلیت استفاده در محیط‌های مرطوب را نام برد همچنین از کاربردهای تجاری این ظروف نیز می‌توان تهیه فتیله‌های حرارتی و یا ظروف مناسب ایمنی اتومبیل را نام برد.

پوکه‌های سلولوئیدی و نیتروفیلیم‌ها به صورت‌های مختلف از جمله: پوکه از جنس سلولوئید خالص و شفاف، پوکه از جنس سلولوئید خالص که به همراه الیافی مستحکم شده است، پوکه از جنس پارچه که به وسیله سلولوئید پوشش داده شده و خواص شکل‌گیری پیدا

1- Parkesine
2- Xylonite
3-Pyralin

با استفاده از دستگاه اکسترودر یا پرس هیدرولیکی عمل تولید پیشرانه به انجام می رسد. در شکل ۷ نمونه ای از این نوع پیشرانه‌ها آورده شده است.



شکل ۷- نمونه ای از پیشرانه‌های با آسیب پذیری کم.

۶-۱- پیشرانه‌های بر پایه الاستومرهای ترموپلاستیکی پرنرزی^۲

پیشرانه‌های بر پایه بایندرهای الاستومرهای ترموپلاستیکی پرنرزی، زیر مجموعه ای از پیشرانه‌های غیر حساس با آسیب پذیری کم هستند، که در آنها اکسیدایزهایی مانند RDX و CL-20 در ترکیب با بایندرهای الاستومرهای پلیمری شده و یا کوپلیمری شده ای، مانند BAMO-GAP و BAMO-AMMO پیشرانه مورد نظر را تشکیل می دهند. از جمله خواص این پیشرانه‌ها نسبت به پیشرانه‌های مرسوم می توان انرژی جنبشی بالاتر (تا ۳۰ درصد) دمای شعله متعادل، خواص مکانیکی مناسب، حساسیت پایین‌تر (در راستای تولید مهمات غیر حساس) و خواص زیست سازگاری بسیار بهتر را نام برد [۱۰].

۶-۲- پیشرانه‌های با حساسیت دمایی کم^۳

یکی از پارامترهای مهمی که یک خرج پیشرانه باید دارا باشد وابستگی هر چه کمتر فشار حاصل از سوختن به تغییرات دمایی مناطق آب و هوایی مختلف می باشد. خرج‌های پیشرانه یکپایه، دوپایه و سه‌پایه که امروزه استفاده می‌گردند، وابستگی دمایی نسبتاً بالایی دارند، که در نتیجه در دماهای پائین بر اثر افت فشار گازهای ناشی از احتراق، سرعت اولیه گلوله کاهش می‌یابد و یا در دماهای بالا ممکن است ماکزیمم فشار از حد مجاز تجاوز نماید. پیشرانه‌های تفنگی با ضریب

۶- پیشرانه‌های تفنگی با آسیب پذیری کم

پیشرانه‌های تفنگی کم آسیب پذیر^۱ ترکیباتی برپایه نیتراآمین‌ها هستند که به وسیله ساختارهای متفاوتی شعله‌ور می‌شوند و تحریک پذیری افروزشی متفاوتی نسبت به پیشرانه‌هایی برپایه نیتروسولوز دارند، زیرا این پیشرانه‌ها در برابر محرک‌های حرارتی مقاوم هستند و سرعت سوختن اولیه آنها در مقایسه با پیشرانه‌های متداول نیتروسولوزی معمولاً خیلی پائین‌تر است [۲۱].

به طور کلی پیشرانه‌های کم آسیب پذیر نسبت به عواملی که باعث آغازش غیر عمدی می‌گردند، در مقایسه با پیشرانه‌های متداول نیتروسولوزی آسیب پذیری کمتری دارند به عبارت دیگر حساسیت این پیشرانه‌ها نسبت به ضربه و اصطکاک کمتر است. همچنین این پیشرانه‌ها دمای خود اشتعالی و پایداری حرارتی بالایی دارند از طرف دیگر علاوه بر آسیب پذیری کمتر، پیشرانه‌های کم آسیب پذیر در درجه حرارت شعله یکسان و حتی پایین تر کارایی بهتری نسبت به پیشرانه‌های متداول دارند.

در پیشرانه‌های کم آسیب پذیر مقدار درصد اجزاء مرسوم به کارگیری شده در آمیزه پیشرانه‌های جامد مانند نیتروسولوز با درصد ازت بالا، نیتروگلیسرین کم و یا حذف شده و به جای آن ترکیباتی مانند CL20، RDX و HMX در یک بستر پلیمری جایگزین می‌شوند به عبارت دیگر این پیشرانه‌ها متشکل از یک سیستم پلیمری به عنوان بایندر و جایگزین نیتروسولوز، یک اکسیدایزر نیتراآمینی مانند CL-20، TAGN، RDX و پلاستی سایزر می‌باشند البته در برخی از فرمولاسیون‌ها حدود ۴ درصد نیتروسولوز در ترکیب این نوع پیشرانه‌ها استفاده می‌شود ولی نیتروگلیسرین به طور کامل از سیستم پیشرانه حذف می‌گردند [۲۱].

به طور کلی این پیشرانه‌ها را به دو صورت بچ و پیوسته می‌توان تولید کرد. فرآیند بچ می‌تواند به دو صورت مرطوب و خشک انجام شود. در فرآیند خشک، ابتدا RDX میکرونیزه بوسیله پلاستی سایزر پوشش داده می‌شود و سپس با سایر اجزاء مخلوط می‌گردد. فرآیند مرطوب نیز در دو مرحله صورت می‌گیرد. ابتدا تمامی اجزاء بصورت مرطوب با هم مخلوط و سپس خشک می‌گردند. سپس به مخلوط خشک حاصل حلال اضافه می‌گردد تا خمیری قابل اکستروژن بدست آید و در نهایت

2- Energetic Thermoplastic Elastomers (ETPE Base Propellant)
3- Low Temperature Coefficient (LTC) Propellants

1- Low Vulnerability Ammunition (LOVA)

می‌باشد. به علت وجود دو ماده افزودنی که یکی در سطح و دیگری درون ماتریس دانه قرار داده شده طول عمر لوله سلاح به طور نمونه تا ۳۰۰۰ شلیک افزایش می‌یابد که بسیار قابل ملاحظه است. نظر به این که نفوذ نیتروگلیسرین و دترانت در سطح پایینی نگه داشته می‌شود، طول عمر بالستیکی بسیار مناسبی به دست می‌آید و بالاخره اینکه علیرغم حضور نیتروگلیسرین، پیشرا نه های EI پایداری شیمیایی خوبی از خود نشان می‌دهند به طوری که طول عمر انبارداری ایمن این نوع پیشرا نه ها در دمای ۲۵ °C (بر حسب استاندارد STANAG 4527)، ۷۰ تا ۱۴۰ سال تعیین شده است.

۷-۲- پیشرا نه های EI+

این عضو جدید از خانواده پیشرا نه های EI جهت پاسخگویی به تقاضای موجود در مورد پیشرا نه هایی با کارایی بالا اما بدون نیتروگلیسرین، توسعه داده شده‌اند.

پیشرا نه های EI+ نیز به همان روش پیشرا نه های EI تولید می‌گردند. با این تفاوت که در تولید این گروه از پیشرا نه ها، نیتروگلیسرین با یک نرم کننده پرتانژی جدید با خواص ترمودینامیکی مناسب (به عنوان مثال نناها^۱) جایگزین می‌گردد. هدف اصلی از تولید این نسل از پیشرا نه ها، انطباق پذیری و سازگاری بیشتر سیستم (از نظر خوردگی، پایداری حرارتی و رفتار Cook-off) است در حالی که محتوای انرژی و رفتار دمایی پیشرا نه های استاندارد EI حفظ می‌گردد. پیشرا نه های EI+ به منظور جایگزینی پیشرا نه های EI معرفی نشده‌اند بلکه هدف از طراحی آنها معرفی یک گزینه کارآمد برای کاربردهای ویژه، همچون مهمات توپهای هواپیماهای جنگنده می‌باشد. پیشرا نه EI+ یک گزینه عالی برای به کارگیری در مهمات توپهای مورد استفاده در جدیدترین نسل هواپیماها مانند Rafale، Eurofighter Joint Strike Fighter به شمار می‌رود [۲۳].

۷-۳- پیشرا نه های EI++

پیشرا نه های EI++ همچنان در حال توسعه می‌باشند. هدف اصلی از تولید این نسل از پیشرا نه ها، افزایش بیشتر پتانسیل و کارایی با حفظ انطباق پذیری و سازگاری سیستم است. بدین منظور، یک ترکیب

تأثیرپذیری پائین از دما یا پیشرا نه های با حساسیت دمایی کم، دسته دیگری از پیشرا نه های تفنگی کم آسیب پذیر هستند که در آنها سرعت تولید گاز مستقل از دما می‌باشد. به عبارت دیگر این پیشرا نه ها وابستگی کم تا خیلی کمی به ماکزیمم فشار در محفظه احتراق سلاح به عنوان تابعی از دمای خرج دارند.

این خاصیت در این پیشرا نه ها با افزودن پلاستی ساینرهای، پرتانژی مانند گروه های دی نیترو دی آزا آلکان^۱ به RDX، FOX-12 و FOX-7 به علاوه بایندر نیتروسولوزی ایجاد شده است. این پیشرا نه ها علاوه بر کارایی بهتر، حساسیت دمایی پائین تر، خوردگی بهتر و به ویژه دارای ضریب تأثیرپذیری پائین تری از دما هستند [۲۲].

۷-۴- پیشرا نه های آغشته شده اکسترودی^۲ (EI)

تولید پیشرا نه ها به روش فنآوری اکسترودن و آغشته سازی اصطلاحاً تکنولوژی پیشرا نه های EI نامیده می‌شود. در این فنآوری ابتدا به روش اکسترودن پیشرا نه تک پایه به صورت تک سوراخه یا چند سوراخه تولید می‌گردد. سپس پیشرا نه تک پایه تولید شده با یک روغن انفجاری آغشته شده و در نهایت با یک ترکیب پلیمری عمل افزایش دترانت به آن صورت می‌گیرد. در چنین پیشرا نه هایی روغن انفجاری یک ضخامت چند صد میکرونی بر روی لایه بیرونی پیشرا نه تک پایه تشکیل می‌دهد. به طور کلی با توجه به نوع ترکیبات سهیم در فرمولاسیون پیشرا نه، پیشرا نه های EI به سه دسته پیشرا نه های EI، پیشرا نه های EI+ و پیشرا نه های EI++ تقسیم می‌شوند [۲۳].

۷-۱- پیشرا نه های EI

گام اول در تولید این نوع از پیشرا نه ها، تولید پیشرا نه تک پایه است که سپس با محلول حاوی نیتروگلیسرین آغشته می‌گردد، تا جذب نیتروگلیسرین بر روی آن صورت گیرد. در مرحله آخر عمل افزایش دترانت با استفاده از یک پلیمر صورت می‌گیرد. این ساختار دو لایه در ماتریس دانه منجر به ایجاد خواص چشمگیری در پیشرا نه به علت رفتار سوزشی صعودی تقریباً مستقل از دما، افزایش جزئی محتوای انرژی و دانسیته توده (تا ۱۱۰۰ g/dm³) می‌گردد، و در نهایت کارایی پیشرا نه بین ۷ تا ۱۲ درصد نسبت به پیشرا نه های متداول افزایش

3- Nitrate Ethyl Nitramine

1- Dinitro diaza alkanes

2- Extrusion Impregnation

کریولیت استفاده نمود. افزودنی‌های یاد شده در حین آماده‌سازی ذرات پیشرانه اصلاح نشده به خمیر اضافه می‌شوند و در نتیجه به صورت یکنواخت در آن پخش می‌شوند. مقدار کلی افزودنی‌ها در ذرات اصلاح نشده بین ۲۰-۰٪ وزنی (نسبت به مقدار نیترو سلولز) و ترجیحاً بین ۵-۰/۱ درصد وزنی است. این افزودنی‌ها را می‌توان از طریق اصلاح سطحی نیز وارد ساختار پیشرانه کرد.

پیشرانه مورد استفاده معمولاً دو پایه یا چندپایه و تک سوراخه یا چندسوراخه است.

دانه‌های پیشرانه به صورت استوانه ای (با قطر خارجی ۱ تا ۲۰ میلی-متر و ترجیحاً ۳ تا ۱۵ میلی-متر) هستند و در جهت محور استوانه ۷ تا ۱۹ سوراخ دارند. نسبت قطر دانه به طول آن ترجیحاً بین ۱/۲-۰/۸ است. هندسه پیشرانه همچنین می‌تواند به صورت گل رز و یا شش-ضلعی باشد. قطر سوراخها نیز ترجیحاً بین ۰/۱-۰/۳ میلی متر است. نمونه‌ای از پیشرانه‌های EI در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸- نوعی پیشرانه EI و مهمات مربوط به آن [۱۲]

۸- خرج های پیشرانه ای فومی

خرج‌های پیشرانه فومی^۲، فوم‌های پلیمری پرنرزی متخلخل پر شده با کریستال‌های مواد پرنرزی مختلف مانند نیتروآمین ها هستند. به عبارت دیگر این پیشرانه‌ها، پیشرانه‌هایی بر پایه منفجره‌های کریستالی پیوند یافته با پلیمرهای پرنرزی واکنش پذیر هستند، که می‌توانند با محتوی انرژی بالا، سرعت سوزش متغیر و خواص مواد پرنرزی مورد استفاده، فرموله شوند. ساختارها(بدنه‌های)پیشرانه‌های فومی با استفاده از ماتریکس‌های پلیمری مختلف، پرکن‌های پرنرزی، افزودنی‌های فرمولاسیون‌ها و ساختار خلل و فرج شکل داده می‌شوند. و می‌توانند با رنج وسیعی از خواص و عملکردهای مختلف تولید شوند [۳۴].

نیتروآمین‌ی وارد ماتریس پیشرانه می‌گردد و سپس اکستروژن انجام می‌شود. در واقع پیشرانه‌ای که تحت آغشته‌سازی درون یک روغن انفجاری قرار می‌گیرد، یک پیشرانه نیمه نیتروآمین^۱ می‌باشد. روغن انفجاری نیز یک نرم کننده جدید مانند ناناها است. پیشرانه‌های EI++ همانند پیشرانه‌های EI+ فاقد نیتروگلیسرین می‌باشند اما سطح انرژی و کارایی بالاتری دارند [۲۷-۲۴].

به طور کلی باروت‌های آغشته شده اکسترودی دارای مزایایی شامل دمای شعله نسبتاً پایین، کارایی بالستیکی داخلی عالی، کاهش حساسیت دمایی، افزایش محتوای انرژی، کاهش خوردگی لوله سلاح، افزایش دانستیه توده ذرات باروت و پایداری حرارتی و شیمیایی می‌باشد و این نسل جدید پیشرانه تاکنون با موفقیت در انواع گوناگونی از مهمات کالیبر متوسط و خمپاره‌ها در کشورهای آمریکا، آلمان، بلژیک، فنلاند، هلند، دانمارک، اتریش، کانادا، سوئیس و ترکیه آزمایش شده است. همچنین در این مورد تحقیقاتی در کشورهای چین، ژاپن و لهستان انجام شده است [۳۰-۲۸].

۷-۴- فرمولاسیون و ساختار پیشرانه‌های EI

این پیشرانه‌ها می‌توانند فرمولاسیون و ابعاد متنوعی داشته باشد. به عنوان مثال می‌توان در فرمولاسیون آنها از نیتروسولولز با درجه نیتراسیون متفاوت، پلی گلیسیدیل نیترات، پلی گلیسیدیل آزید، پلی NIMMO، پلی AMMO، پلی BAMO، اتیلن گلیکول دی نیترات (EGDN)، متریول تری نیترات (MTN)، نیترو گوانیدین، هگزوزن (RDX)، اکتوزن (HMX)، الکیل-NENA، CL-20، DNDA57، PETN، NTO و غیره استفاده نمود [۳۳-۳۱].

همچنین در صورت لزوم می‌توان از افزودنیهای شناخته شده در مورد پیشرانه جهت پایداری، حفاظت از لوله، نرم کنندگی و اتلاف برق دهانه استفاده کرد. افزودنی‌های مورد استفاده جهت پایداریسازی عبارتند از: آکاردیت II، سنترالیت I، سنترالیت II، ۲- نیترو دی فنیل آمین و دی فنیل آمین، می‌توان از موادی نظیر تالک، تیتانیوم اکساید، کربنات کلسیم یا سیلیکات منیزیم برای حفاظت از دیواره لوله سلاح و کامفور یا دی بوتیل فتالات به عنوان نرم‌کننده استفاده کرد. برای اتلاف برق دهانه می‌توان از پتاسیم سولفات یا پتاسیم

2- Foamed Propellant Charges

1 -Semi-nitramine base propellant

جدول ۱- مقایسه مختصری از تکنولوژی های ذکر شده.

پیشراندهای کم آسیب پذیر	خرجهای بیس بلید	پیشراندهای یکپارچه سازی شده	پیشراندهای چند لایه	خرجهای مدولار و پوکه های سلولوفیدی	پیشراندهای آغشته شده اکسترودری El	پیشراندهای فومی
پرس یا اکسترودر	اختلاط اجزاء، ریخته گری و پخت	پرس قالب گیری، اکسترودر	فرایند CO-Extrusion ، یا پرس های مجهز به قالب های ویژه	عمل فلیتینگ و قالب گیری خمیر یا الیاف	اکستروژن و آغشته سازی	قالب گیری تزریقی واکنشی
مانند پیشراندهای متداول		متناسب با گلوله مهمات بدون پوکه و یا پوکه های تلسکوپی	مانند پیشراندهای متداول	مدولار: شارژ باروت در پوکه سوزشی سلولوفید: شارژ باروت در ظروف طراحی شده	مانند پیشراندهای متداول	متناسب با گلوله مهمات بدون پوکه
مزایا	کاهش حساسیت نسبت به ضربه و اصطکاک، دمای خود اشتعالی و پایداری حرارتی بالا، کارایی بهتر نسبت به پیشراندهای متداول در درجه حرارت شعله یکسان	افزایش برد مرمی به وسیله کاهش دادن درآگ پایه	حذف پوکه برخی از مهمات، افزایش دانسیته شارژ، افزایش نواخت تیر سلاح، افزایش کارایی بالستیکی سلاح، کاهش قیمت تولید مهمات، کاهش اندازه و وزن مهمات	بهبود کارایی سلاح به وسیله افزایش ایمپالس مرمی، کاهش فرسایش ناشی از پیشراندهای پر انرژی، بهبود رفتار افروزشی و بهبود حساسیت در پیشراندها، ایجاد رفتار سوزشی صعودی در پیشراندها، دستیابی به سرعت دهانه بالاتر، افزایش کارایی لایه های پیشرانده در مقایسه با پیشراندهای گرانولی منظم چند سوراخه	دمای شعله نسبتاً پایین، کارایی بالستیکی داخلی عالی، کاهش حساسیت دمایی، افزایش محتوای انرژی، کاهش خوردگی لوله سلاح، افزایش دانسیته توده ذرات باروت ، پایداری حرارتی و شیمیایی مناسب	محتوی انرژی بالا، سرعت سوزش بالا، حساسیت پایین، پایداری حرارتی و شیمیایی خوب، تکرار پذیری خوب خواص در تولید، پایداری مکانیکی خوب، وزن و حجم کمتر، نرخ تبدیل جرمی بالا، طراحی فرمولاسیون دلخواه با مواد اولیه مختلف
کاربردها	مهمات سلاح های مختلف	توپهای کالیبر بزرگ، خمپاره ها	مهمات سلاح های کالیبر کوچک تا بزرگ بدون پوکه یا دارای پوکه های تلسکوپی،	مهمات سلاح های مختلف	مهمات سلاح های مختلف	مهمات بدون پوکه، پوکه های قابل احتراق
نمونه فرمولاسیون	RDX(61.18%) TAGN(18.82%) GAP(20%)	PPG(18.68%),GMRO (0.22%),DOP(3.08%), TDI(2.22%),AP(75.39) CC(0.13%) ,FeAcAc (0.055%),P ₂₅ (0.18%)	SBP(98.3%) DBP(1.68%) Graphite(0.015%)	لایه تند سوز: BAMO- RDX.NMMO نرم کننده لایه کندسوز: NQ.RDX. BAMO-NMMO	NC(95.36%) NG(3.69%) DPA(0.47%) DBP(0.24%) Graphite(0.17%) PVA(0.07%)	RDX ، پلی اورتان و عامل فوم کننده

RDX: سیکلو تری متیلن تری نیترو آمین. GAP: گلیسیدیل آزید پلیمر. TAGN: تری آمینو گوانیدین نیترات. NC: نیتروسلولز. NG: نیترو گلیسرین. AMMO: آزیدو متیل متیل اکستان. BAMB: بیس آزیدو متیل اکستان. NIMMO: نیترا تومثیل متیل اکستان. PPG: پلی اکسی پروپیلن گلاکول. GMRO: گلیسرین مونو ریسینولات، FeAcAc: فریک استیل استونات، TDI: تولون دی ایزو سیانات، DPA: دی فیل آمین، DOP: دی اکتیل فتالات، CC: کوپر کرومیت، P 25 نوعی اتصال دهنده عرضی.

به این معنی که فرآیند تهیه این پیشراندها بر اساس فرآیند قالبگیری تزریقی^۲ در فشار پایین و در صورت نیاز اصلاح یا تعدیل فرآیند جهت استفاده از پرکن های پرانرژی با قابلیت انفجار ذرات ریز با درصد بالا (تا ۶۰٪) می باشد. به طور کلی این پیشراندهای متخلخل می توانند بوسیله قالبگیری تزریقی واکنشی با قابلیت تکرارپذیری بالایی ساخته شوند [۳۵ و ۳۶].

۹- مقایسه تکنولوژی ها

در جدول ۱ تکنولوژی های مذکور به طور خلاصه با هم مقایسه شده اند.

۱۰- نتیجه گیری

از حدود دو دهه قبل تا کنون در جهان، تلاش های تحقیقاتی متداول در حوزه پیشراندهای جامد برای استفاده در سیستم های تفنگی، به سوی بهبود در پیشراندهای جامد مرسوم و یا خرج های پیشرانده جامد با هدف دستیابی به کارایی بالاتر تفنگ ها، طراحی ایمن تر پیشرانده، ساده کردن شارژهای پیشرانده، افزایش طول عمر سلاح ها، کاهش هزینه تولید مهمات و هدایت شده است. نتیجه این تحقیقات منجر به خلق فناوری های جدیدی در این حوزه شده است که شامل، یکپارچه سازی پیشراندها، هم لایه کردن مواد پیشراندهای، تهیه خرج های مدولار و پوکه های سوزشی، تهیه خرج های بیس بلید، تهیه پیشراندهای با آسیب پذیری کم و تهیه پیشراندهای آغشته شده اکسترودری می باشد. از این رو با توجه به پیشرفتهای فناوری ذکر شده، مطالعه و تحقیق جامع، این فناوری ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است، که می تواند روند تحقیقات آتی کشور را در زمینه پیشراندهای جامد تفنگی هدایت کند.

همچنین در تولید این پیشراندها محدودیت ژئومتری (شکل هندسی) وجود ندارد لذا هر شکلی را می توان از این پیشراندها تولید نمود. به علت این انعطاف پذیری، این پیشراندها می توانند در تهیه پوکه های قابل احتراق یا مهمات بدون پوکه که نمونه ای از آنها در شکل ۹ آورده شده است، مورد استفاده قرار گیرند.



شکل ۹- نمونه ای از پیشرانده فومی تولید شده در موسسه فرانهورفر

کشور آلمان [۳۶].

از پلیمرهای پرانرژی مورد استفاده در تهیه این پیشراندها، می توان پلی اورتان، گلیسیدیل آزید پلیمر، و از مواد کریستالی پرانرژی مصرفی در آنها می توان RDX و HMX را نام برد. به طور کلی از عمده ترین مزایای این پیشراندها می توان، محتوی انرژی بالا، سرعت سوزش بالا، حساسیت پایین، پایداری حرارتی و شیمیایی خوب، تکرارپذیری خوب خواص در تولید، پایداری مکانیکی خوب، وزن و حجم کمتر پوکه های سوزشی تهیه شده از این پیشراندها در مقایسه با مهمات متداول و ... را نام برد. همچنین نرخ تبدیل جرمی این پیشراندها به طور اساسی در مقایسه با پیشراندهای تفنگ متداول به علت وجود خلل و فرج در ساختار آنها، که منجر به ایجاد خواص سوزش خطی موثر و طولی می گردد، افزایش یافته است. اساس فرآیند تهیه این پیشراندها توسعه فرآیند قالب گیری تزریقی واکنشی^۱ (RIM) برای استفاده منفجره ها است.

مراجع

- [1]. Joseph, B. Q. "Process of Making Consolidated Propellant Charges."; US Patent H761, 1990.
- [2]. Stephen, E. C.; James D. Hendry. "Dry Mixture for Production of Preformed Propellant Charge."; US Patent 4844845, 1989.

- [3]. Terrence, P. G. A.; Dnald N. T.; Charles G. G.; San J. "Consolidated Charges Incorporating Integral Ignition Compounds."; US Patent 4094712, 1978.
- [4]. Hkpro, C. "The G11, Far Ahead of Its Time."; <http://www.hkpro.com/g11.htm>
- [5]. Lucian M. S. "Component Tecnology Investigation for Light Machine Gun Application."; www.dtic.mil/ndia/2005smallarms/Wednesday/adowski.pdf.
- [6]. Veritay, C. "Consolidated Propellant Technology."; http://www.veritay.com/defense/def_consol.htm
- [7]. Albert, W. H. J.; Frederick W. R. "Programmed Splitting Solid Propellant Grain for Improved Ballistic Performance of Guns."; US Patent 4581998 1986.
- [8]. Kaste, P. M.; Rice, B. M. "Novel Energetic Materials for the Future Force."; [Http://Amptiac.Aliionscience.Com/Quarterly](http://Amptiac.Aliionscience.Com/Quarterly).
- [9]. Painter, C. R. "Continuous Extrusion Improves Safety and Efficiency of Propellant Manufacturing."; www.navsea.navy.mil/nswc/indianhead/codeCA/emtc/.../flexman.pdf.
- [10]. Thelma, G.; Manning, D. P.; Donald, C.; Kenneth, K. "Development and Performance of High Energy High Performance Co-Layered ETPE Gun Propellant for Future Large Caliber System."; Presented to the 2006 NDIA Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium, Thistle Hotel, Bristol, UK, PP. 24-28, April, 2006.
- [11]. Constance, M.; John, B.; Richard, S. M. "Co-Extrusion of Energetic Materials Using Multiple Twin Screw Extruders."; US Patent 7063810 B1, 2006.
- [12]. Nyberg, H. "Evaluation of Gun Propelling Charge Performance During the Life Cycle by Statistical Utilization of Data Collected in Test and Troop Gun Firings."; lib.tkk.fi/Diss/2009/isbn9789512297221/isbn9789512297221.pdf
- [13]. Schoolderman, C.; Zebregs, M.; Van Driel, C. A.; Hordijk, A. C. "Co-Extrusion of Gun Propellants."; Proc. 37th Int. Ann. ICT Conference, 2006.
- [14]. Kaste, P.; Leadore, M.; Newberry, J.; Lieb, R. "Mechanical Properties Considerations for Fast Core Propellants."; 39th Annual Guns and Ammunition Meeting Baltimore, MD 16 APRIL, 2004.
- [15]. Martijn, Z.; Van Driel, V. "Experimental set-up and results of the process of co-extruded perforated gun propellants." IM/EM Symposium, Tucson, AZ, May, 2009.
- [16]. Haugen, S.; Melby, K.; Opegard, A. "Development and Production of Base Bleed Grain for 155 mm Rounds."; International journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion, 2007, 6, 63-78.
- [17]. Nils, E. G. "Base bleed unit."; US Patent 6213023B1 2001.
- [18]. Franzen, A.; Johansson, V. "Base-bleed gas generator for a projectile, shell or the."; US Patent 4846071, 1989.
- [19]. Eurenco, C. "Mortar Horseshoe Containers."; [HHhttp://WWW.Eurenco.Com/En/Combustible_Items/Mortar_Horseshoe.Html](http://WWW.Eurenco.Com/En/Combustible_Items/Mortar_Horseshoe.Html)
- [20]. رحمانی، حسین، داوری، مهدی، قنبری مزیدی، محمد اسماعیل، شریفان، شهرام "تولید پوکه سوزشی توپ ۱۵۵ م م" پنجمین همایش سراسری مواد منفجره، پیروتکنیک و پیشرانه، پژوهشکده علوم و فناوری شیمیایی - سازمان صنایع دفاع ص ۱۷۴-۱۶۳، اسفند ماه ۱۳۸۶.
- [21]. مقیسه، عباسعلی، قاسمی، عبدالمجید، "پیشرانه‌های نسل جدید با آسیب پذیری کم" چهارمین همایش سراسری مواد منفجره، پیروتکنیک و پیشرانه، دانشگاه صنعتی مالک اشتر ص ۵۴۸-۵۴۳، اسفند ماه ۱۳۸۳.
- [22]. Bohn, M. A.; Mueller, D. "Insensitivity aspects of NC bonded and DNDA plasticizer containing gun propellants ."; Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT), April, 2006.
- [23]. Vogelsanger, B.; Schadeli, U.; Antenen, D.; Ryf, K. "EI + a new , nitroglycerine free and sensitiveness reduced propellant for medium caliber and mortar applications."; Nitrochemie Wimmis S AG, Switzerland, ICT, 2001.
- [24]. Haeselich, D.; Kelly, R.; Miller, R. M. "Results of Investigations Conducted To Improve the Insensitive Munitions Properties of the 40mm MK281 Target Practice Cartridge."; Presentation for Insensitive Munitions & Energetic Materials, Technology Symposium, 2006.
- [25]. Kelly, R. "Improvements to the Insensitive Munitions Properties of the 40mm MK281 Target Practice Cartridge."; Presentation for Insensitive Munitions & Energetic Materials, Technology Symposium, April 27, 2006.
- [26]. Andres, H.; Schädeli, U.; Wagner, C.; Vogelsanger, B.; Ryf, K. "Serial and Future Sensitivity reduced Nitrocellulose based Propelling Solutions."; Nitrochemie AG, Wimmis Switzerland / Aschau Germany, IM & EM Technology Symposium, Bristol, April 28th, 2006.

- [27]. Vogelsanger, B.; Huber, A.; Jaskolka, H. "Insensitive Propulsion Systems for Large Caliber Ammunition, Nitrochemie ."; IM Conference, 2007.
- [28]. Miszczak, M.; Borkowski, J.; Milewski, E.; Szymanowski, J.; Marczuk, I. A.; Smigielska, B. "Contact compatibility investigations of high- energetic materials used in mortar augmenting propelling charges."; Ntrem, Pardubice, 2002.
- [29]. Koji, K.; Satosi, O.; Shuhei, K.; Kazushige, K. "Burning characteristics of deterrent-coated propellant."; Journal of the Japan Explosives Society, 2000, 61, 94-98.
- [30]. Wong, P. C.; Shan, Y. Sh. "The study of the coated propellant lowering ballistic temperature sensitivity coefficient."; Journal of ballistics, 2002, 14, 14-18.
- [31]. Smith, M. W.; Cliff, M. D. "NTO based explosive formulations: A technology review."; DSTO-TR-0796, 1999.
- [32]. [Http://WWW.Eurenco.com](http://WWW.Eurenco.com).
- [33]. Mukundan, T.; Purandare, G. N.; Nair, J. K.; Pansare, S. M.; Sinh,a R.K.; Singh, H. "Explosive Nitrotriazolone Formulates."; Defence Science Journal, 2002, 52, 127-133.
- [34]. Böhnlein, J.; Kröber, H. "Technology of Foamed Propellants."; Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2009, 34, 239–244.
- [35]. Böhnlein, J.; Eberhardt, A.; Fischer, T. S. "Foamed Propellants."; Propellants, Explosives, Pyrotechnics, .2002, 27, 156–160.
- [36]. Böhnlein, J. "Processing and Characteristics of Foamed propellant."; Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, http://www.imemg.org/res/IMEMTS%202010/presentations/process_4_Boehnlein_IMEMTS%202010.pdf.