

بررسی روش‌های ایمن تخلیه موشک‌های سوخت جامد، انهدام یا بازیابی برخی از اجزاء سوخت

فرهاد سیف^{*۱}

تهران - سازمان صنایع هوا فضا

*Email: Seif.farhad@gmail.com

(تاریخ وصول: ۹۱/۷/۱۵، تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۶)

چکیده

موشک‌های سوخت جامد بعد از طی چند سال نگهداری در انبار، بدلیل فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی دچار فرسودگی شده و کارائی آنها تحت تاثیر این شرایط تا حدود زیادی افت می‌کند. بدلیل خطرات ناشی از نگهداری این موشک‌های اسقاطی در انبار، بایستی گرین سوخت را تخلیه و با استفاده از روش‌هایی آنها را منهدم نمود. تخلیه و انهدام این مواد با استفاده از روش‌های سنتی خطرات و آلودگی محیط زیست را به‌همراه دارد. روش‌های تخلیه و انهدام ایمن گرین سوخت و از طرفی بازیابی برخی از اجزاء اصلی آنها در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: موشک سوخت جامد، گرین، تخلیه، انهدام.

۱- مقدمه

نسبتاً راحت است. در گرین‌های متصل به بدنه که اغلب در موتورهای بزرگ استفاده می‌شوند بالا بودن پارامتر کرنش جهت تحمل تغییرات دمایی حین انبارداری و همچنین تنش‌های وارده به هنگام حمل و نقل و آغازش^۷ و از طرف دیگر مناسب بودن میزان پارامتر استحکام جهت تحمل تنش‌های ناشی از شتاب گرانش و یا حین پرواز حائز اهمیت است. عایق^۸ و لاینر^۹ در این دسته از موتورهای سوخت جامد، اتصال بسیار محکمی را میان گرین پیشران و بدنه برقرار می‌نمایند و از این‌رو جدا نمودن ایمن گرین پیشران از بدنه بسیار

بطورکلی نحوه اتصال گرین پیشرانه در موشک‌های سوخت جامد به دو دسته کارتریجی^۲ و متصل به بدنه^۳ تقسیم بندی می‌گردد (شکل ۱). در گرین‌های کارتریجی که معمولاً در موشک‌های کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرند، پارامترهای خواص مکانیکی پیشران مانند تنش^۴ و مدول^۵ بایستی بالا و مقدار کرنش^۶ پایین باشد تا اینکه در نهایت گرین‌هایی با استحکام بالا تولید گردد. این نوع گرین‌ها به وسیله اتصالاتی داخل موتور قرار می‌گیرند و از این‌رو تخلیه آنها نیز

۱- کارشناسی ارشد

7-Ignition

8- Insulator

9- Liner

2-Cartridge

3- Case-bonded

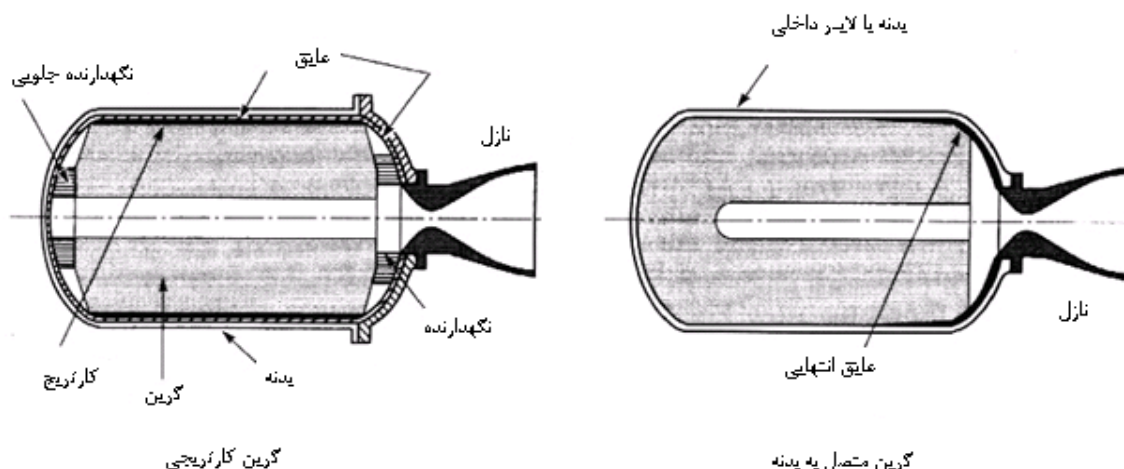
4-stress

5- Module

6- Elongation

الکترونیکی در موشک‌های اسقاطی مجدداً به صورت ایمن قابل استفاده باشند [۱ و ۲].

مشکل است، چرا که تا حدود زیادی احتمال وقوع انفجار و یا آتش سوزی‌های غیر قابل کنترل وجود دارد. از این رو این‌چنین برداشت می‌شود که فقط قسمت‌هایی مانند نازل، آتشنه و سیستم کابل‌های



شکل ۱- گرین‌های متصل بدنه و کارتریجی [۲].

مجدداً استفاده نمود، علاوه بر بحث صرفه اقتصادی از لحاظ زیست محیطی نیز بسیار حائز اهمیت است [۳ و ۴].

۲- روش‌های تخلیه سوخت در موتور موشک

۱-۲- روش مکانیکی

از روش‌های مکانیکی می‌توان جهت ماشین‌کاری و یا تخلیه موشک‌های سوخت جامد و کلیه مهمات نظامی (به‌جزء مهمات کوچک) استفاده نمود. در این روش از مته یا ابزار مکانیکی جهت تخلیه استفاده می‌گردد. با استفاده از این روش حدود ۹۵٪ از مواد پرنرژی تخلیه شده و از این‌رو به عملیات اضافی مانند استفاده از دی‌اکسیدکربن جهت تخلیه باقیمانده مواد نیاز می‌باشد. از جمله مزایای این روش می‌توان به عدم وجود پسماند اشاره نمود [۵].

۲-۲- جت آب

جت آب از جمله روش‌های ایمن، اقتصادی و متداول می‌باشد که جهت برش‌کاری و یا تخلیه موشک‌های سوخت جامد و حتی مهمات حاوی مواد منفجره قوی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش از ابزاری جهت حرکت طولی درون موشک استفاده می‌گردد که آب به داخل آن پمپ شده و از طرفی دارای دهانه قابل چرخش به همراه نازل‌های با قطر بسیار ریز جهت ایجاد جت آبی در مسیر مستقیم و با

در فرمولاسیون پیشران‌های جامد، اجزاء پرنرژی استفاده می‌گردد که این اجزاء بدلیل پایداری کم، به مرور زمان دچار واکنش‌های تخریبی شده و ممکن است صدمات جبران‌ناپذیری را در صورت عدم توجه به همراه داشته باشند. از طرف دیگر، گرین موشک‌های سوخت جامد بعد از طی چند سال ضمن انبارداری، بدلیل فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی که بر روی آنها اتفاق می‌افتد، دچار فرسودگی^۱ شده و عملاً کارایی خود را از دست می‌دهند. جابجائی‌های ناشی از حمل و نقل که منجر به ایجاد ترک در گرین و یا جدایش میان پیشران و بدنه می‌گردد، قرارگرفتن در معرض شوک‌های دمایی، شرایط محیط انبارداری، نفوذ رطوبت به داخل موتور، مهاجرت پایدارکننده‌ها و افزودنی‌های بالستیکی موجود در فرمولاسیون گرین پیشران به سطح و اکسیداسیون بایندر از جمله این عوامل شیمیایی و فیزیکی می‌باشند. بدلیل اینکه موشک‌های سوخت جامد قبل از تست‌های استاتیکی و پروازی مورد آزمایش قرار نمی‌گیرند، لذا بایستی از طریق بازرسی‌های دوره‌ای و با استفاده از روش‌های موجود، طول عمر^۲ پیشرانه تخمین زده شده و از قابلیت کارکرد آنها در مدت زمان انبارداری اطمینان حاصل نمود، تا از اسقاط شتابزده موشک جلوگیری گردد. بدلیل اینکه فرآیند تولید موتورهای سوخت جامد نسبتاً گران است لذا اگر بتوان با استفاده از تدابیری علاوه بر موارد مذکور (آتشنه، کابل‌های الکترونیکی و نازل) از بدنه و یا اجزاء گرین پیشران نیز

1-Aging
2-Service life

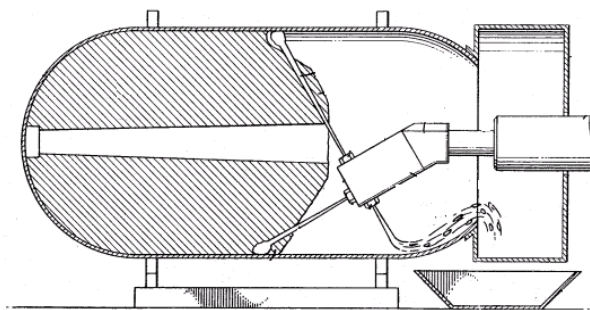
۲-۴- جت آمونیاک

برای اضمحلال پیشراندهای دوپایه که اغلب حاوی اجزایی مانند نیتروسولوز و نیتروگلیسرین می‌باشند، روش جت آمونیاک استفاده می‌گردد. در این روش بدلیل فشار بالای آمونیاک، سطح گرین بصورت فیزیکی دچار تخریب شده و از طرفی واکنش شیمیایی آمونیاک با نیترات استرها و دیگر اجزاء پیشرانده منجر به تخریب شیمیایی گرین می‌گردد. پاشش آمونیاک در پیشراندهای دوپایه اصلاح شده منجر به تخریب بیشتری نسبت به آب می‌گردد که این اثر به واکنش‌پذیری بیشتر آمونیاک مربوط می‌گردد. پایین بودن چگالی آمونیاک نسبت به آب از مهم‌ترین تفاوت‌های این دو ماده می‌باشد که منجر به سرعت‌های بالا برای آمونیاک می‌شود. پیشراندهای حاوی اتصالات عرضی در حضور آمونیاک نسبت به آب کمتر دچار تخریب می‌گردند. علی‌رغم مشکل سمیت، آمونیاک در صنایع کاربرد گسترده‌ای دارد و برای اغلب مواد منفجره به‌عنوان حلال و یا حساسیت زدا می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. از جمله مزایای آمونیاک نسبت به نیتروژن سهولت در فرآیند مایع سازی و استفاده راحت‌تر آن می‌باشد [۷-۵].

۲-۵- تخلیه تیریدی

یکی از اجزاء اصلی در پیشراندهای جامد، بایندر^۳ می‌باشد. بایندر قالبی الاستومری می‌باشد که ذرات مجزای اکسیدایزر^۴ و سوخت فلزی^۵ را بطور یکنواخت کنار یکدیگر نگهداشته و توده‌ای لاستیکی را تشکیل می‌دهد که توانایی مقاومت در مقابل تنش‌های ناشی از عوامل مکانیکی و حرارتی را بدون تغییر شکل به گرین پیشرانده می‌دهد. برای شکستن و یا خرد کردن گرین پیشرانده نیاز است تا انرژی کافی برای غلبه بر استحکام کششی بایندر اعمال نمود که اگر این انرژی بالاتر از حد معینی باشد منجر به انفجار و یا آتش‌سوزی‌های غیر قابل کنترل می‌گردد. از طرف دیگر، هنگامی که پیشرانده خرد می‌شود و به صورت گرانولی در می‌آید بدلیل افزایش سطح مخصوص، حساسیت به شوک و اصطکاک آن بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. از جمله مزایای این روش می‌توان به کاهش احتمال انفجار، آتش‌سوزی و کارا بودن آن اشاره نمود. از طرفی مقدار انرژی مورد نیاز برای غلبه بر استحکام کششی بایندر تا حد زیادی کاهش می‌یابد و از این‌رو می‌توان با اعمال نیروی بسیار کم، پیشرانده را از درون موتور خارج و از بدنه موتور نیز مجدداً استفاده نمود. اصول کار این روش بر مبنای سرد نمودن بدنه موتور تا دمای پایین‌تر از محدوده دمای انتقال شیشه‌ای (Tg) بایندر پیشرانده می‌باشد. در این دما بایندر به صورت شیشه‌ای و شکننده در می‌آید و عملاً برهمکنش میان زنجیرها تا حد زیادی کاهش یافته، پیشرانده ترک خورده و از این‌رو با اعمال نیروی ناچیز از طریق ضربه

شتاب بالا می‌باشد. تماس جت آب با مواد پرنرژ، منجر به بریده شدن آن بصورت مارپیچی یا حلزونی می‌شود و از طرفی نیز می‌توان دیواره داخلی موشک‌های سوخت جامد را با استفاده از آب تا حد بسیار زیادی تمیز نمود (شکل ۲). از مهم‌ترین مزایای این روش که آن‌را نسبت به روش‌های برش‌دادن معمولی ارجحیت می‌بخشد، عدم تولید گرما در حین برش است که خطراتی مانند انفجار یا آتش‌سوزی‌های ناخواسته را تا حدود زیادی کاهش می‌دهد. از جمله معایب این روش نیز می‌توان به عدم استفاده برای مهمات کوچک، آلودگی آب و نیاز به سیستم تصفیه جهت استفاده مجدد از آن، امکان انفجار مواد نیتروآمیننی موجود در آب، پخش شدن آب آلوده در خطوط لوله و همچنین خطر آتش‌سوزی مواد منفجره آلومینیومی درون آب اشاره نمود. این روش بطور کلی برای پیشرانده‌های دسته ۱-۳ که اغلب قابلیت انفجار ندارند، کاملاً موثر است. از طرفی برخی از پیشرانده‌های قابل انفجار دسته ۱-۱^۲، را نیز با این روش می‌توان جدا نمود ولی بایستی دقت داشت که بقایای این نوع پیشرانده‌ها در موتور هنوز قابلیت انفجار دارند. شرکت ATK در ایالات متحده از این روش جهت تخلیه موتور موشک‌های استراتژیک استفاده نموده است [۷-۲].



شکل ۲- تخلیه توسط جت آب [۶].

۲-۳- جت نیتروژن مایع

بدلیل مشکلات ناشی از روش جت آبی که بدان اشاره شد، جهت انهدام ایمن پیشرانده‌های قابل انفجار (دسته ۱-۱) از واکنشگرهایی مانند آمونیاک بدون آب و یا نیتروژن استفاده می‌گردد. از سیال نیتروژن با محدوده فشاری ۱۰۰-۴۰۰ MPa برای عملیات برش‌کاری و فشار حدود ۱۰۰ MPa جهت تخلیه مواد پرنرژ درون مهمات استفاده می‌گردد. نیتروژن بدلیل فراریت بالا نسبت به آب پسماندی بر جای نمی‌گذارد. از جمله دیگر مزایای سیال نیتروژن می‌توان به خنثی و غیر سمی بودن آن اشاره نمود. این روش برای کلیه مهمات با ابعاد بزرگ قابل استفاده است [۷-۵].

3-Binder
4-Oxidizer
5-Metallic fuel

1 -Nondetonable materials
2 -Detonable materials

۳-۱- سوزاندن باز

یکی از روشهای مرسوم و متداول جهت انهدام پیشرفته‌ها و ضایعات مواد پرانرژی غیر قابل انفجار، سوزاندن در محیط‌های باز^۲ (OB) و بدور از اماکن عمومی است. ضمن این فرآیند درصد بالایی از مواد آلاینده و سمی مانند اسید کلریدریک، اسید هیدرو سیانیک، مونوکسید کربن، اکسید نیتروژن و غیره وارد محیط زیست می‌گردد. این ترکیبات علاوه بر آلودگی محیط زیست، نازک شدن لایه اوزون، بارانهای اسیدی و آلودگی آب‌های زیر زمینی، اثراتی را نیز روی بدن انسان دارند. مثلاً گاز مونوکسیدکربن بدلیل ترکیب با هموگلوبین خون، اکسیژن رسانی به بافت‌های بدن را مختل کرده و باعث خفگی می‌گردد. از این‌رو روش انهدام پیشران‌های اسقاطی بایستی با در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی همراه باشد. از جمله مزایای این روش می‌توان به سادگی فرآیند و عدم نیاز به طراحی‌های صنعتی اشاره نمود [۱۳ و ۱۵].

۳-۲- احتراق بسته

سیستم‌های احتراق بسته^۳ مربوط به استفاده از محیط‌های محصور جهت احتراق موتورهای موشک می‌باشد. این روش با تست استاتیک استفاده شده در موتور موشک یکسان می‌باشد و به خرج‌های اضافی جهت احتراق نیاز نمی‌باشد. ایالات متحده سیستم انهدام تاکتیکی را در اواخر دهه ۱۹۹۰ توسعه داده است (شکل ۴). سیستم شامل یک مخزن با ظرفیت ۷۳/۶ مترمکعب و یک نگهدارنده موتور موشک می‌باشد. مخزن دارای سیستم کنترل آلودگی بوده تا پس از اینکه موتور روشن شد، از انتشار آلودگی به محیط جلوگیری نماید. از جمله مزایای این سیستم‌ها می‌توان به مصرف پایین انرژی، قابل حمل بودن و عدم نیاز به کوره اشاره نمود. این سیستم‌ها برای پروژه‌های انهدام بسیار بزرگ به جهت ناپیوسته بودن فرآیند مناسب نمی‌باشند و بطور کلی جهت موتورهای موشک و برخی آنالیزهای ایمنی موتور تحت فشارهای افزایش یافته، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد [۵].

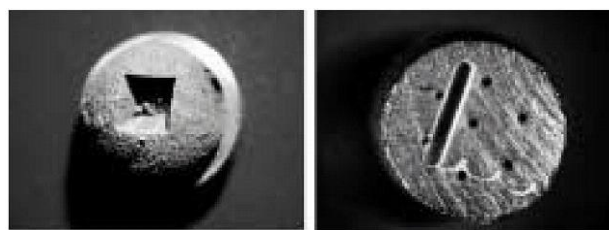


شکل ۴- مخزن محصور جهت انهدام تاکتیکی [۵].

مکانیکی یا امواج صوتی، گرین پیشرانه خرد و به‌راحتی خارج می‌گردد. بعد از اینکه پیشرانه از این طریق از بدنه موتور جدا شد، برای فرآیندهای بعدی مانند بازیابی اجزاء، گرانول کردن و یا استفاده از انرژی آنها مهیا می‌گردد. محدوده دمایی مورد نیاز جهت اعمال این روش ۷۹- تا ۱۲۰- درجه سانتی‌گراد می‌باشد که با استفاده از حمامی از موادی مانند نیتروژن مایع، اکسید نیتروژن یا یخ خشک برای موتورهای با ابعاد بزرگ و یا استفاده از فریزرهای خاص برای موتورهای کوچک قابل تامین است. از میان مواد بالا نیتروژن مایع بدلیل در دسترس و خنثی بودن از لحاظ شیمیایی در مقابل پیشرانه‌ها ارجحیت دارد. بطور کلی این روش وابسته به ابعاد موتور، نوع و جرم پیشرانه است [۱۰-۸].

۲-۶- برش لیزری

از جمله دیگر روش‌های ایمن تخلیه، برش‌دان و ماشین‌کاری مواد پرانرژی (پیشرانه‌ها و مواد منفجره قوی) می‌توان به برش لیزری^۱ اشاره نمود. اساس این روش استفاده از امواج لیزری پالسی بسیار سریع (۱۵۰- تا ۱۰۰۰۰۰ پالس ثانیه) می‌باشد. جذب امواج لیزری بسیار کوتاه می‌تواند منجر به برش و یا فرسایش سریع مواد بدون انتقال حرارت به محیط گردد و از این‌رو اغلب به روش برش لیزری سرد معروف است. پیشرانه‌های دوپایه تفنگی، کامپوزیت و مواد منفجره قوی اولیه و ثانویه توسط این روش برش و سوراخ‌کاری شده‌اند (شکل ۳). از جمله مزایای این روش می‌توان به ایمنی و دقت بسیار بالا، عدم تغییر ساختار مواد و عدم تولید پسماند اشاره نمود. این روش قابلیت برش‌کاری هر ماده جامدی از آئروژل‌های دانسیته پایین تا تنگستن را دارا می‌باشد [۱۲ و ۱۱].



شکل ۳- برش و سوراخ‌کاری پیشرانه‌های دوپایه (چپ) و مرکب (راست) با روش لیزر سرد [۱۲ و ۱۱].

۳- روش‌های انهدام پیشرانه‌های اسقاطی

با توجه به این موضوع که بایستی پیشرانه‌های اسقاطی را با استفاده از روش‌هایی منهدم و یا اجزاء آن‌ها را بازیابی نمود، در ادامه روش‌های انهدام این مواد بطور کامل بررسی شده است.

2- Open burning
3- Contained burn

1- Laser cutting



شکل ۶- کوره چرخان ISL در آلمان [۵].

۳-۵- اکسیداسیون نمک مذاب

این روش از جمله روش‌های غیر مخرب و ایمن برای انهدام ضایعات آمیزه‌ای و یا گرانیولی جامد مواد پرانرژی محسوب می‌گردد (شکل ۷). اساس این روش استفاده از حمام نمک‌های کربناتی در محدوده دمایی ۶۰۰-۹۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مخلوط نمودن ضایعات پیش‌برانه و مواد پرانرژی با یک نمک مذاب حاوی کربنات یا هیدروکسید فلزات قلیایی و یا مخلوطی از آن دو انجام می‌پذیرد. از جمله بهترین نمک‌های مذاب جهت تجزیه پیرولیتیکی ضایعات مواد پرانرژی به محصولات گازی می‌توان به مخلوط‌های اتکتیک KOH-Na-OH (در محدوده دمایی ۲۰۰-۴۰۰ درجه سانتی‌گراد) و $Li_2CO_3-Na_2CO_3-K_2CO_3$ (در محدوده دمایی ۴۰۰-۶۰۰ درجه سانتی‌گراد) اشاره نمود. مخلوط اتکتیک کربنات‌ها حاوی 45 ± 5 درصد مولی لیتیم کربنات، 30 ± 5 درصد سدیم کربنات و 25 ± 5 درصد پتاسیم کربنات می‌باشد. جهت سوزاندن کربن اضافی موجود در این ضایعات، نیتريت یا نیترات فلزات قلیایی به مخلوط اضافه می‌شود یا به آن سولفات فلزات قلیایی جهت افزایش دما به ۸۰۰-۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد اضافه می‌گردد. جهت اکسایش کامل نمونه، هوا یا اکسیژن خالص به مخلوط اضافه می‌گردد. این روش برای انواع پیش‌برانه‌های تک پایه، دوپایه با سوخت جامد یا مایع مناسب است. گازهای حاصل از فرآیند مانند HCl و NO_2 توسط کربنات یا هیدروکسید فعال موجود در مذاب حذف می‌شوند. هنگامی که در گاز خروجی CO وجود داشته باشد، یک فرآیند اکسایش کاتالیزوری توسط هوا، تبدیل CO را به CO_2 منجر می‌گردد. از جمله مزایای این روش می‌توان به دمای عملیاتی پایین، دوست‌دار محیط زیست بودن بدلیل عدم تولید گازهای اسیدی و گیرافتادن اجزاء معدنی در حمام نمکی اشاره نمود [۱۵ و ۵].

۳-۳- سوزاندن در کوره ثابت^۱

بطور کلی سوزاندن در کوره شامل حرارت‌دهی ضایعات مواد پرانرژی و تجزیه آن‌ها می‌باشد. تفاوت این روش با روش قبل استفاده از منابع گرمایش خارجی جهت عملیات حرارتی کنترل شده می‌باشد. کوره‌های ثابت محفظه‌های آب‌بند شده‌ای می‌باشند که توانایی گرم شدن و سوزش یا انفجار مواد را داشته باشند. Dynasafe AB تعدادی از کوره‌های ثابت که توانایی حرارت دهی غیر مستقیم جهت جلوگیری از نشر گازهای اضافی را دارد، تولید نموده است (شکل ۵). کوره‌ها توانایی سوزاندن ضایعات را با سرعت انهدام ۴۰ کیلوگرم بر ساعت را دارا می‌باشند. مکانیزم این روش به صورت پیوسته می‌باشد. این روش جهت انهدام مهمات کوچک و یا مقادیر کم از پیش‌برانه‌ها و مواد منفجره قوی قابل کاربرد می‌باشد [۵].



شکل ۵- کوره ثابت Dynasafe AB [۵].

۳-۴- سوزاندن در کوره چرخان^۲

ضایعات اغلب مواد منفجره در کوره‌های چرخان سوزانده می‌شود. در این روش ضایعات مواد پرانرژی اسقاطی با آب مخلوط شده تا اینکه سوسپانسیون آبی تشکیل گردد. این سوسپانسیون درون یک کوره چرخان با دمای ۲۲۰۰-۱۲۰۰ درجه فارنهایت جهت تبخیر آب سوسپانسیون و خشک شدن ذرات قرار گرفته و محترق می‌گردد. گازهای حاصل از فرآیند احتراق از کوره خارج و با آب جهت حذف گازهای مضر و ذرات معلق مخلوط می‌گردد. سپس گازهای عبوری وارد محیط اتمسفر می‌گردد. هر قدر ذرات ریزتر باشند فرآیند احتراق با سرعت بیشتری انجام می‌گردد. از روش کوره چرخان جهت انهدام ضایعات پیش‌برانه‌ها، مواد منفجره قوی و مهمات کوچک استفاده می‌گردد (شکل ۶) [۱۴ و ۵].

1- Static Kiln Incineration
2- Rotary Kiln Incineration

۳-۷- هیدرولیز اکتود میل^۱

این روش در شرکت آرک تک ال ان سی^۲ در ویرجینیا به ثبت رسیده است. اساس این فرآیند، واکنش هیدرولیز بازی توسط پتاسیم هیدروکسید می‌باشد (شکل ۸). در این فرآیند پتاسیم هیدروکسید به همراه یک کمپلکس اسیدی آلی با وزن مولکولی ۳۰۰۰-۱۰۰۰ گرم بر مول که از زغال سنگ بدست می‌آید تشکیل یک معرف با نام a-HAX را می‌نماید. این فرآیند در فشار اتمسفر و دمای متعادل ۷۰-۹۰ درجه سانتی‌گراد الی ۲ الی ۴ ساعت به طول می‌انجامد. پس از واکنش هیدرولیز، ضایعات توسط هیدروژن پروکسید خنثی می‌گردد. این فرآیند بطور گسترده برای پیش‌رانه‌ها و مواد منفجره مورد آزمایش قرار گرفته است [۵].



شکل ۷- تاسیسات اکسیداسیون نمک مذاب در McAlester [۵]



شکل ۸- تاسیسات Actodemil در McAlester [۵].

۳-۶- هیدرولیز بازی

این روش از جمله روش‌های شیمیایی جهت تبدیل مواد منفجره و یا مواد شیمیایی سمی به موادی با قدرت انفجاری و سمیت کمتر می‌باشد. اساس انجام این روش واکنش هیدرولیز می‌باشد که در آن هر مولکول به دو بخش و نیز مولکول آب بصورت یونی (H^+ , OH^-) تبدیل می‌گردد. طی این واکنش، مواد پرانرژی با محلول‌های بازی واکنش یافته و محصولات تولید می‌گردد که نوع محصولات به ماهیت مواد پرانرژی، نسبت حلال به مواد پرانرژی و شرایط واکنش وابسته می‌باشد. در این روش ذرات جامد مواد پرانرژی به ذرات ریزتر تبدیل شده تا اینکه سطح تماس با مواد بازی زیادتر شود و از طرفی مدت زمان واکنش کاهش یابد. بهتر است مواد در داخل راکتور بصورت مکانیکی یا با کمک جریان از هوا بهم زده شود. اخیراً جهت انجام واکنش هیدرولیز از راکتورهایی که امکان افزایش دما (۱۵۵-۶۰ درجه سانتی‌گراد) و فشار در حضور یک محلول بازی قوی را دارند، استفاده شده است. بطور کلی فشار داخل محفظه از فشار اتمسفر بایستی بالاتر باشد تا اینکه ضمن عملیات هیدرولیز مواد فرار آلی و آب از کندانسور عبور نموده و به داخل راکتور باز گردند. ضمن این عمل مصرف آب کاهش یافته و از طرفی مواد آلاینده وارد محیط نمی‌شوند. زمان لازم جهت انجام این عملیات بصورت کامل به اندازه ذرات جامد، میزان اختلاط و دمای واکنش وابسته می‌باشد و حدود ۱۵ دقیقه الی ۲ ساعت می‌باشد. شرکت آمریکایی جهت تصفیه ضایعات پیش‌رانه‌ها و نیز پیش‌رانه‌های آلوده شده با مواد دیگر از تاسیسات هیدرولیز استفاده نموده است. در این فرآیند از یک راکتور ۵۶۰ لیتری و محلول سدیم هیدروکسید استفاده شده است [۱۶ و ۵].

۳-۸- اکسیداسیون الکتروشیمیایی میانی

اکسیداسیون الکتروشیمیایی میانی فرآیند الکتروشیمیایی دو مرحله- ای جهت حساسیت زدایی^۳ و تبدیل مواد پرانرژی می‌باشد. در این فرآیند از یک یون فلزی (مانند سریم، نقره یا کبالت) در یک کریولیت اسید معدنی استفاده می‌گردد. ضمن انجام این روش، ترکیب در یک حلال مناسب مانند آب، الکل‌های با وزن مولکولی پایین (متانول، اتانول) و یا کتون‌ها (استون، متیل اتیل کتون) حل و سپس به سل الکتروشیمیایی منتقل می‌گردد. حلال مورد استفاده بایستی دارای هدایت بالا و نیز توانایی حل کردن ماده پرانرژی را داشته باشد. سل استفاده شده نیز بایستی دارای یک غشاء نیمه تراوا بین دو نیمه سل و دو الکتروود یکی بعنوان الکتروود کار و دیگری الکتروود مرجع باشد. جهت انجام واکنش‌های کاهش، پلارایته الکتروود کار منفی (کاتد) و ضمن اکسایش، مثبت (آند) نگه داشته می‌شود. جنس الکتروودها از فلزات خاص مانند آلومینیوم، نقره، پلاتین، روی و تیتانیوم و اکسیدهای فلزی مانند اکسید سرب، اکسید منگنز و یا پلیمرهای هادی مانند پلی‌آنیلین، پلی‌استیلن و پلی‌پروپیلن می‌تواند باشد. دمای

1 - Actodemil
2 - Arctech Inc
3-Desensitize

بی خطر مانند دی اکسید کربن تبدیل و از این طریق آلومینیوم باقیمانده بصورت آزاد قابل بازیابی است. از طرق دیگر نیز این بازیابی قابل انجام می‌باشد؛ بدین صورت که مواد باقیمانده غیر قابل انحلال خشک و تا دمای ۶۰۰-۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت گرم می‌گردد. اساس این روش اکسیداسیون دیفرانسیلی می‌باشد. آلومینیوم در معرض هوا با پوششی از اکسید آلومینیوم پوشیده شده و به همین دلیل حتی در دماهای بالاتر از نقطه ذوبش (۶۶۰ درجه سانتی‌گراد) در مقابل اکسیداسیون مقاومت می‌نماید. از مزایای این روش می‌توان به راندمان بسیار بالا و هزینه پایین آن اشاره نمود. در این روش از حلال‌هایی مانند بنزن جهت حذف مواد پلیمری قابل حل و از استون، آب و متانول جهت حذف اکسیدایزر آلومینیوم پرکلرات استفاده می‌گردد [۱۹].

۴-۱-۲- روش دوم

اساس این روش انجام واکنش تبادل استری جهت جداسازی شیمیایی و شکستن واحدهای پلیمری^۲ بایندر می‌باشد. در این روش پیشرانه تخلیه شده از موتور در یک حلال تبادل استری فعال جهت دپلمریزه شدن بایندر به اجزاء قابل حل و جدا کردن فلز از محلول حل می‌گردد. این حلال از یک محلول الکلی، کاتالیزور ۵٪ وزنی و آلکوکسید فلزات قلیایی با فرمول MOR (M) فلز قلیایی و R گروه آلکیلی حاوی اتم‌های ۱-۶ کربنه) تشکیل شده است. جهت تسریع حمله کاتالیستی روی بایندر می‌توان از یک حلال کمکی نیز استفاده نمود. کاتالیست مورد استفاده در این سیستم، سدیم متوکسید و یا متانول می‌تواند باشد. در این روش بایستی پیشرانه جهت حذف و یا کم نمودن مقدار اکسیدایزر به کمتر از ۱۵٪، با آب شستشو شود چرا که وجود مقادیر زیاد اکسیدایزر منجر به عدم انجام واکنش تبادل استری می‌گردد. محلول پیشرانه مورد نظر نیز بایستی تا دمای حدود ۵۰ درجه سانتی‌گراد جهت بازیابی آلومینیوم گرم گردد [۲۰].

۴-۱-۳- روش سوم

در این روش که جهت بازیابی مواد مفید از پیشرانه‌های مرکب اسقاطی ارائه شده است، در ابتدا بایستی اکسیدایزر را از ترکیب پیشرانه حذف نمود تا اینکه ترکیب بدست آمده حاوی حداقل مقدار اکسیدایزر (۵/۲- درصد وزنی) گردد. در ادامه ترکیب بدست آمده را از دمای ۶۰۰-۳۵۰ درجه سانتی‌گراد در اتمسفر اکسیژن با حجم (۲- ۵/۰ درصد)، گرم تا اینکه بایندر پلیمری بصورت مواد روغنی در آمده و تبخیر گردد (پیرولیز). ضمن این فرآیند آلومینیوم در مواد باقیمانده قابل جمع آوری است. جهت حذف اکسیدایزر در این روش از

سل بایستی زیر ۶۰ درجه سانتی‌گراد باشد. مدت زمان الکترولیز، انتخاب جنس الکترود، فاصله میان الکترودها و نوع سل به نوع ترکیب پراورزی وابسته است. جهت افزایش هدایت می‌توان به سیستم فلزات قلیایی، قلیایی خاکی، آمونیوم، اسید، باز و نمک‌های معدنی محلول در آب اضافه نمود. استفاده از این روش برای انواع پیشرانه‌های جامد و اجزاء مورد استفاده در آنها مانند آمونیوم نترات، آمونیوم پرکلرات، سیکلوتترامتیلن تترا نیرآمین، نیتروسولوز، نیتروگلیسرین و غیره کاربرد دارد [۱۸ و ۵].

۳-۹- اکسیداسیون توسط هوای مرطوب

اکسیداسیون توسط هوای مرطوب که به روش زیمرمان^۱ نیز مشهور است، از عامل اکسیدکننده اکسیژن که در دما و فشارهای بالا (بیش از ۳۲۰ درجه سانتی‌گراد و ۲۲ مگاپاسکال) تولید شده، استفاده می‌گردد. این فرآیند در سال ۱۹۱۱ در سوئد به ثبت رسیده است. اگرچه از این فرآیند برای تصفیه پساب‌های صنعتی استفاده می‌شود، کاربردهایی مبنی بر انهدام مواد پراورزی نیز دارا می‌باشد. تحقیقات زیادی در زمینه انهدام پیشرانه‌ها توسط این روش صورت پذیرفته است [۵].

۴- روش‌های بازیابی برخی از اجزاء اصلی پیشرانه‌های

جامد مرکب

با توجه مشکلات احتمالی و اجتناب ناپذیر زیست محیطی و عدم استفاده از انرژی پیشرانه‌های اسقاطی، با استفاده از روش‌هایی می‌توان برخی از اجزاء اصلی پیشرانه‌های جامد مرکب را بازیابی و از آن‌ها استفاده مجدد نمود. بطور کلی پیشرانه‌های جامد دارای اجزاء اصلی بایندر، اکسیدایزر و سوخت فلزی می‌باشند که در اثر تخلیه موشک‌های اسقاطی می‌توان تا حدود زیادی این اجزاء را بازیابی و از آن‌ها استفاده مجدد نمود که در ادامه به برخی از روش‌های بازیابی اجزاء اصلی مذکور اشاره شده است.

۴-۱-۱- بازیابی سوخت فلزی آلومینیوم

۴-۱-۱- روش اول

اساس این روش انحلال پیشرانه تخلیه شده از موتور در یک حلال خاص جهت حذف مواد پلیمری و نیز انحلال اکسیدکننده می‌باشد. اجزاء باقیمانده غیر قابل انحلال، خشک و سپس با استفاده از گازهای اکسیدکننده گرم می‌گردد. ضمن این افزایش دما که معمولاً پایین‌تر از دمای ذوب آلومینیوم می‌باشد، مواد پلیمری موجود اکسید می‌شوند. در اثر فرآیند اکسیداسیون، مواد پلیمری به گازهای

۵- نتیجه گیری

با توجه به مطالب گفته شده می‌توان نتیجه گرفت که امروزه تخلیه گرین پیشرا نه در موتورهای سوخت جامد اسقاطی که در اثر گذشت زمان دچار فرسودگی شده و یا در اثر حمل و نقل، دچار جدایش و با ترک می‌گردد، از جمله مباحث بسیار حائز اهمیت می‌باشد. تخلیه گرین پیشرا نه بایستی با تدابیر ویژه به جهت جلوگیری از خطرات احتمالی انفجار، آتش‌سوزی، آلودگی محیط‌زیست و استفاده مجدد از بدنه موتور صورت پذیرد. در روش‌های تخلیه گرین پیشرا نه موتورهای سوخت جامد، همانطور که گفته شد به نظر می‌رسد استفاده از واتر جت و تخلیه تیریدی از جمله روش‌های ایمن و نسبتاً مقرون به صرفه باشد. از طرفی نیز بایستی متذکر شد که انتخاب نوع روش تخلیه تا حدود زیادی به ابعاد موتور، نوع پیشرا نه و میزان اهمیت دستیابی و استفاده مجدد از سازه فلزی وابسته است. با توجه به این موضوع که مبحث انهدام پیشرا نه‌های اسقاطی نیز از جمله موارد مهم به شمار می‌رود، لذا با در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی و ایمنی، بایستی اقدام به انتخاب روش انهدام مواد مذکور نمود. روش‌های انهدام پیشرا نه که مورد بحث و بررسی قرار گرفت، اغلب روش‌های ایمن و غیر مخرب می‌باشند که با توجه به نوع، مقدار و میزان حساسیت پیشرا نه انتخاب می‌گردند. با توجه به این موضوع که هزینه تأمین مواد در تولید پیشرا نه‌های جامد نیز نسبتاً بالا می‌باشد، بایستی بتوان از مواد اصلی این پیشرا نه‌های اسقاطی مجدداً استفاده نمود. با توجه به این موضوع که در سوخت‌های جامد مرکب میزان بار جامد بالا بوده و این مواد شامل اکسیدایزر و سوخت فلزی می‌باشند، لذا بازیابی با راندمان بالای این اجزاء بایستی مد نظر قرار گیرد. در مورد سوخت فلزی آلومینیوم روش اول که بر اساس انحلال صورت می‌پذیرد، نسبتاً مناسب و مقرون به صرفه می‌باشد. از طرف دیگر در مورد اکسیدایزرهای پرکلراتی و نیتروآمین بایستی به این مسأله اشاره نمود که بازیابی این اجزاء نسبتاً پیچیده‌تر بوده و نیاز به طراحی دستگاهی دارد. بطور کلی درصد این اجزاء در فرمولاسیون پیشرا نه‌های جامد مختلف، اهمیت بازیابی را تا حدودی مشخص می‌نماید. از جمله دیگر موارد استفاده از پیشرا نه‌های اسقاطی که اخیراً معرفی شده است، استفاده در تولید کودهای کشاورزی و نیز استفاده به‌عنوان سوخت بویلرها می‌باشد که لازم است صنایع نظامی کشور ما نیز با در نظر گرفتن مطالب گفته شده از حداکثر انرژی پیشرا نه‌های اسقاطی استفاده نمایند.

حلال‌های مناسب مانند آب، آمونیاک، و آمونیوم هیدروکسید می‌توان استفاده نمود. از مزایای این روش می‌توان به بازیابی آلومینیوم با خلوص بالا بدون تغییر حالت، شکل و اندازه ذرات اشاره نمود [۲۱].

۴-۲- بازیابی اکسیدایزرها

۴-۲-۱- آمونیوم پرکلرات

در این روش استخراج و بازیابی آمونیوم پرکلرات با استفاده از آمونیاک مایع تحت فشار انجام می‌گیرد. جهت انجام فرآیند لازم است تا سیستم تامین خوراک و پاشش تحت فشارهای بالا از آمونیاک مایع راه‌اندازی شود. سپس محفظه ی تحت فشار جهت نگهداری پیشرا نه کامپوزیتی که در ارتباط با سیستم خوراک دهی آمونیاک مایع می‌باشد، راه‌اندازی گردد. ضمن این فرآیند مقداری از پیشرا نه داخل محفظه استخراج تحت فشار قرار می‌گیرد. از طریق سیستم خوراک دهی آمونیاک مایع ضمن عبور از سیستم پاشش فشار بالا در تماس با پیشرا نه منجر به خرد شدن آن به ذرات ریز می‌گردد. محلول آبکی به داخل محفظه فیلتراسیون جامد- مایع پمپ شده تا اینکه ذرات جامد اکسیدایزر آمونیوم پرکلرات موجود از محلول آبی آمونیاک جدا گردد. محلول آمونیاک نیز ضمن عبور از نازل واگرایی مایع-گاز که در محفظه جداسازی اکسیدایزر قرار گرفته عبور کرده و در این حالت سیستم بازیابی آمونیوم پرکلرات از آمونیاک مایع گاززدائی شده و اکسیدایزر بازیابی می‌گردد. جهت بازیابی گاز آمونیاک نیز این گاز از یک ستون خشک کننده عبور و فیلتر می‌گردد. در این میان نیز پمپی جهت تامین فشار برای متراکم نمودن مجدد گاز آمونیاک استفاده شده و بدین ترتیب بازیابی این گاز نیز صورت می‌پذیرد [۲۲ و ۲۳].

۴-۲-۲- نیتروآمین‌ها

در این روش که معمولاً در پیشرا نه‌های کامپوزیت و دوپایه قابل استفاده است، از حلال آمونیاک مایع در دمای محیط و فشار حدود ۱۱۴ psi استفاده می‌گردد. ضمن انجام این فرآیند بایستی اجزاء قابل حل در آمونیاک مانند نیتروآمین ها، پرکلرات‌ها، نیتراتو استرها و پایدارکننده‌های شیمیایی جدا شود. بخش ته نشین شده جهت جدایی فیزیکی در سیستم های جداسازی قرار می‌گیرند و از این طریق آمونیاک آنها تبخیر می‌گردد [۲۴].

مراجع

- [1] Davenas, A. "Solid Rocket Propulsion Technology. "; Pergamon Press, 1993
- [2] Sutton, G. P. "Rocket Propulsion Elements. "; United States: WHILY Publication, 2001
- [3] Cuniffe, A. V.; Davis, A.; Tod, D. "Ageing and Life Prediction of Composite Propellant Motors. "; AGARD PEP Symposium 1996, pp. 95-103.
- [4] Kishore, K.; Prasad, G. "Survey of Solid Propellant Aging Studies. "; J. Spacecraft. 1978, 5, 261-262
- [5] Wilkinson, J.; Watt, D. "Review of Demilitarization and Disposal Techniques for Munitions and Related Materials. "; MSIAC/NATO/PfP , 2006.

- [6] Scott, L. B.; Gate, S. "Method of Removing Solid Propellant. "; US Patent 3,440,096, 1969.
- [7] Miller, P. L. "Fluid Jet Evolution and Application for the Demilitarization of Ordnance. "; Proceedings of the 6th NDIA Global Demilitarization Symposium, May 1998.
- [8] Voss, k. R. "Chemical Process for Disposal of Rocket Propellant Containing Nitrate Ester. "; US Patent 5,430,229, 1995.
- [9] Lee, D. E. "Process for the Removal of a Solid Rocket Propellant From a Rocket Motor Case. "; US Patent 5,552,093, 1993.
- [10] Lipkin, J. "Cryocycling of Energetic Materials: Final Report, Sandia National Laboratories. "; SAND97-8280, Aug 1997.
- [11] Roeske, F.; Benterou, J.; Lee, R.; Ross, E. "Cutting and Machining Energetic Materials with a Femtosecond Laser. "; PROPELL EXPLOS PYROT, 2003, 28, 53-57
- [12] Ross, E.; Lee, R.; Roeske, F.; Benterou, J.; Stuart, B. "Femtosecond Laser Interaction with Energetic Materials. "; Proceedings of SPIE, 2002, 4760, 415-423.
- [13] Joseph, R. "Resource Recovery System for Solid Rocket Propellants. "; 23th international annual conference of ICT, 1992, pp. 195-203.
- [14] Bolejack, J. W. "Incineration Process for Disposal of Waste Propellant and Explosives. "; US Patent 3,848,548, 1974.
- [15] Yosim, S. J.; Hills, W. "Non-Polluting Disposal of Explosive and Propellants. "; US Patent 3,778,320, 1973.
- [16] Hurley, E. K. "Process for Disposal of Waste Propellants and Explosives. "; US Patent 5,516,971, 1996.
- [17] Sayles, D. C. "Disposal of Solid Propellants. "; US Patent 4,758,387, 1988.
- [18] Nashlovsky, B. D.; Park, C.; Spring, Sh. "Desensitization of Waste Rocket Propellants. "; US Patent 5,211,777, 1993.
- [19] Raisor, R. C. "Method of Recovering Powdered Aluminum from Aluminum-Polymer Mixtures. "; US Patent 4,718,955, 1988.
- [20] Shaw, G. C. "Recovery of Aluminum from Composite Propellants. "; US Patent 4,229,182, 1980.
- [21] Nashlovsky, B. D.; Park, C.; Wong, K. M. "Recovery of Aluminum and Hydrocarbon Values from Composite Energetic Compositions.. "; US Patent 5,314,550, 1994.
- [22] Melvin, W.; Graham, F. J. "Method to Demilitarize Extract, and Recover Ammonium Perchlorate from Composite Propellants Using Liquid Ammonia. "; US Patent 4,854,982, 1989.
- [23] Shaw, G. C.; Frosch, R. A. "Process for the Leaching of AP from Propellant. "; US Patent 4,198,202, 1980.
- [24] Melvin, W. S. "Method to Extract and Recover Nitramine Oxidizers from Solid Propellants Using Liquid Ammonia. "; US Patent 5,284,995, 1994.