

دفع و بازیافت کامپوزیت ها



سهم عمده ای از بازار رو به رشد کامپوزیت ها از نظر ارزش به کاربردهای هواپردی و هوافضایی در هر دو جنبه تجاری و نظامی اختصاص دارد. با این وجود سهم این کاربری ها در بازار از نظر حجمی کمتر است. در این کاربردها به دلیل استفاده از

مقادیر زیادی تقویت کننده الیاف کربن، قیمت ها بالا است. مواد کامپوزیتی کارآمد شش ویژگی دارند که آنها را نسبت به مواد معمولی متمایز می کند: چرخه های عمر طولانی تر به علت استحکام بالقوه در برابر خستگی، مقاومت به خوردگی بیشتر، مقاومت بهبود یافته در برابر آتش، طراحی آسان تر به علت یکپارچگی عملکردی، امکان خلق شکل های پیچیده و وزن کمتر. انتظار می رود کاربرد فزاینده کامپوزیت ها در سیستم های فضایی و نظامی و همچنین در توسعه هواپیماهای تجاری در آینده ادامه یابد.

وزارت دفاع ایالات متحده آمریکا به طور فزاینده ای بر جنبه های زیست محیطی و تعهدات مرتبط با سیستم های تسلیحاتی که به انتهای چرخه عمر طراحی خود می رسند تاکید می کند. سیستم های تسلیحاتی باید از روشی ایمن، اقتصادی و از نظر زیست محیطی مسئولانه دفع شوند. به دلیل جنس مواد بکار رفته در این سیستم ها، فرآیند دفع آنها می تواند بسیار پرهزینه باشد.

در سند شماره DoDi ۲، ۵۰۰۰ وزارت دفاع هزینه های دفع به عنوان بخشی از هزینه های عمر در نظر گرفته شده اند. کاهش هزینه های دفع یکی از اولویت های شرکت بویینگ است. مشتریان وزارت دفاع آمریکا به خوبی از شرایط هزینه ای چرخه عمر آگاهند. اگر آنها این مساله را درک کنند که هزینه دفع ضایعات زیاد است ممکن است میزان تسلیحاتی که قرار است تحت یک قرارداد چند ساله بخرند را کاهش دهند. دفع و بازیافت مواد کامپوزیتی موضوعاتی را مطرح می کند که باید به آنها توجه کرد. یکی از این موضوعات توجه به سازه هواپیماهای خارج از رده ای است که حاوی الیاف کربن پوشش داده شده با آستر کروم شش ظرفیتی اند. کامپوزیت هایی که پوشش کروم شش دارند می توانند به عنوان

ضایعات خطرناک رده بندی شوند و بنابراین به علت امکان نشت کروم به خاک، نباید در زمین دفع شوند. سازمان حفاظت از محیط زیست (EPA) عبارت "ضایعات خطرناک" را برای ضایعاتی به کار می برد که می توانند برای سلامتی انسان و محیط زیست خطرناک باشند.

بخش ۴۰ CFR ۲۶۱ A از قانون RCRA عبارت های "ضایعات جامد" و "ضایعات خطرناک" را تعریف می کند. ضایعات وقتی خطرناک تعریف می شوند که تعریف RCRA از ضایعات جامد را داشته و به طور ویژه به عنوان خطرناک لیست شده باشند یا یکی از ویژگی های ضایعات خطرناک را داشته باشند. برای طبقه بندی ضایعات به عنوان خطرناک طبق بخش ۴۰ CFR ۲۶۱، ضایعات جامد باید یک یا چند ویژگی از ویژگی های زیر را داشته باشند: اشتعال پذیری، خوردگی، واکنش پذیری یا سمیت.

مشخصه سازی ضایعات موضوع بسیار مهمی برای کارخانه ها و تاسیسات تولیدی است. هزینه دفع ضایعات خطرناک بیش از ۲۰ برابر هزینه دفع ضایعات جامد معمولی است چنانچه ضایعاتی به عنوان خطرناک طبقه بندی شوند، باید اقدامات ویژه ای پیش بینی شود تا این اطمینان را ایجاد کند که اگر این ضایعات در زمین دفع شوند تهدیدی برای سلامتی انسان ها و محیط زیست نخواهند داشت.

طبق مقررات دفع زمینی EPA، ضایعات خطرناک قبل از دفن در زمین باید شرایط استانداردهای عملیات حفاظتی را کسب کنند. یکی از روش های تعیین الزامی بودن این استانداردها، شیوه نشت مشخصه سمیت (TCLP) است. TCLP ضایعات را مورد تجزیه قرار داده و تعیین می کند که چه مقداری از ذرات کنترل (همانند کروم) در آن وجود دارد. اگر این مقدار کمتر از حد تنظیمی باشد، هیچ کار دیگری لازم نیست. با این وجود اگر میزان آن ذرات از حد معمول تجاوز کند قبل از اینکه ضایعات در زمین دفع شوند، اعمال استانداردهای عملیاتی اجباری می شود. سوزاندن گزینه دیگری برای دفع کامپوزیت هاست. ولی اگر کامپوزیت از جنس الیاف کربن باشد نمی توان بدون رعایت احتیاط های لازم آن را سوزاند؛ چون امکان رهایش از الیاف کوچک رسانای الکتریکی به درون محیط زیست وجود دارد. این ذرات اگر جمع آوری نشوند می توانند باعث مداخله الکتریکی شوند.

بازیافت نیز گزینه دیگری است. شرکت هایی که در زمینه قراضه و اوراقی فعالیت می کنند عموماً متخصص بازیافت فلزند. با این وجود ممکن است قراضه هایی که می خردند حاوی کامپوزیت های تقویت شده با الیاف کربن نیز باشند. یکی از دل مشغولی های اصلی این شرکت ها مشخص کردن مواد گوناگون موجود در قراضه قطعات بدنه هواپیما و چگونگی خردایش، دسته بندی و بازیافت این مخلوط است. آنها باید تصمیم بگیرند که در زمینه تحقیق و توسعه سرمایه گذاری کنند یا خیر؟ فرآوری چنین مخلوطی از مواد از نظر تجاری موفقیت بزرگی محسوب می شود. مقادیر زیادی از قراضه های قابل بازیافت هواپیما در مرکز تعمیر و نگهداری هوافضای آریزونا (AMARC) نگهداری می شود. AMARC

تاسیساتی برای خدمات مشترک است که تحت نظارت فرماندهی مواد نیروی هوایی ایالات متحده مدیریت شده و تاسیساتی برای نگهداری و ذخیره تجهیزات هوافضایی در کنار آن فعالیت می کند.

این مرکز به تمام شاخه های ارتش ایالات متحده (نیروی هوایی، نیروی دریایی، تفنگداران دریایی و ...)، گارد ساحلی و دیگر سازمان های ملی خدمات ارائه می دهد. بسیاری از هواپیماهای انبار شده در این مرکز که بیش از ۴۲۰۰ فروند هستند می توانند در مدت زمان کوتاهی به وضعیت فعال برگردند. AMARC کار دیگری نیز انجام می دهد که شامل بازیابی قطعات یدکی و از بین بردن احتمالی بدنه هواپیماست. وقتی قطعات یدکی از هواپیما جدا شدند اسکلت باقیمانده از هواپیما به شرکت هایی فروخته می شود که در زمینه بازیافت فلزات تخصص دارند. نگرانی عمده AMARC هنگام کار روی بدنه هواپیما ها، مواد کامپوزیتی و پوشش های کروم شش است. AMARC این پوشش ها یا قطعات کامپوزیتی را از این بدنه هواپیما جدا نمی کند و بنابراین این نگرانی به شرکت های خریدار منتقل می شود که باید با آن مقابله کنند. این موضوع باعث می شود تا این شرکت ها در مزایده های برگزار شده تمایلی به خرید بدنه هواپیما نداشته باشند. طراحی و انتخاب مواد، در دراز مدت بر میزان هواپیمایی که بازیافت می شود اثر می گذارد.

تا پیش از سال ۱۹۹۷۰ مقررات سخت گیرانه زیست محیطی، تولید کنندگان را محدود نمی کرد و اگر نگوییم همه قوانین، بسیاری از قوانین فعلی هنوز به طور کامل توسعه نیافته بودند. این نبود مقررات به تولید کنندگان اجازه می داد که بدون نگرانی راجع به مسایل زیست محیطی به طور آزادانه انواع مواد و فرآیندهای تولید را انتخاب کنند. تصمیمات تولیدی که سال های قبل بدون توجه به مسایل زیست محیطی اخذ شده اند، هزینه های زیادی را به دفع ضایعات تحمیل می کردند.

یکی از شرکت هایی که در زمینه امکان سنجی کار با چنین مخلوطی از مواد تحقیق می کند هورون ولی استیل (Huron Valley Steel (HVS)) است. HVS به عنوان یک شرکت فراوری و بازیافت فلز تاسیس شد که در زمینه بازیافت خودروهای اوراقی فعالیت می کرد. اگر چه HVS در زمینه بازیابی فلزات پیشرو است ولی در خصوص بازیافت کامپوزیت ها تجربه زیادی ندارد. HVS نیاز به تحقیق و توسعه در خصوص فن آوری که بتواند کامپوزیت ها را از فلز جدا و بازیافت کند را الزامی دانسته است.

HVS یک مرکز تحقیق و توسعه برای تجهیزات جدا کننده پیشرفته به نام موسسه فزیتز (Fritz) در میشیگان دارد. گروه بیمه زیست محیطی (EA) شرکت بویینگ از HVS خواسته است که امکان این جداسازی را در قطعات اوراقی هواپیما حاوی فلز و کامپوزیت بررسی کند. EA برای تهیه قطعات اوراقی هواپیما با نیروی دریایی همکاری می کند تا بدنه هواپیماهای ۸۸AV را برای فعالیت های تحقیق و توسعه در میشیگان فراهم کند.

نیروی دریایی و EA درخواست کرده اند که فریتز پس از اتمام پروژه، در گزارش نهایی خود اطلاعاتی در مورد این فرآیند و روش های مورد استفاده برای جداسازی و ... ارائه کند. نیروی دریایی به این برنامه پژوهشی علاقه ویژه ای دارد. نیروی دریایی و دیگر مراکز دفاعی و شرکت های هواپیمایی تجاری نگران رسیدن هواپیماها به انتهای چرخه عمر طراحی شان هستند و وزارت دفاع علاقه مند است تا گزینه ای بری بازیافت این هواپیماهای کامپوزیتی داشته باشد.

جداسازی کامپوزیت ها از فلز نخستین گام در بازیافت کامپوزیت هاست. با این وجود توانایی استخراج الیاف کربن از کامپوزیت، شاید بسیار مهم تر باشد. پیش از این، بازیافت کامپوزیت ها عمدتاً به خرد کردن و آسیا کردن کامپوزیت تا اندازه ذرات مناسب محدود می شد. این ذرات به عنوان ماده پر کننده در قالبگیری قطعات کامپوزیتی جدید به کار می روند. پرولیز یا تجزیه حرارتی پلیمر در دماهای بالا به عنوان روشی برای آماده سازی کامپوزیت قبل از خرد کردن مورد مطالعه قرار گرفته است. با استفاده از این روش کامپوزیت قبل از خرد کردن مورد مطالعه قرار گرفته است. این روش ممکن است برای انواع خاصی از بازیافت کامپوزیت مناسب باشد؛ همانند ضایعات صنعت خودرو که قطعات کامپوزیت آن معمولاً حاوی مقادیر زیادی پر کننده است. در هر حال قطعات کامپوزیتی هواپیما معمولاً حاوی مقادیر قابل توجهی رزین و الیاف کربن هستند و برای استخراج و بازیافت این اجزا به طور موثر، باید روش های بازیافت دیگری مورد استفاده قرار گیرند.

فرآیند های دیگری از جمله تجزیه اسیدی می توانند برای بازیافت این الیاف استفاده شوند. با این وجود به نظر می رسد که این فرآیند نیز از نقطه نظر زیست محیطی عملی نباشد. برای تجزیه اسیدی، مواد شیمیایی خطرناکی به کار گرفته می شوند که مخلوطی ایجاد می کنند که خود به بازیافت نیاز دارد. لذا انتخاب فرآیند بازیافت بسیار مهم است. استفاده از فرآیندهای بازیافتی که محصولات جانبی خطرناکی تولید می کنند نه عاقلانه و نه عملی است.

شرکت هایی همانند (Adherent Technology Inc) ATI در جداسازی الیاف کربن از کامپوزیت های اپوکسی تقویت شده با الیاف کربن و استحصال مقادیر قابل توجهی الیاف کربن موفق بوده اند. بخش مهندسی محیط زیست ATI فرآیندهایی را برای بازیافت کامپوزیت ارائه کرده است.

این شرکت در سال ۱۹۹۲ پژوهشی را در زمینه تبدیل کاتالیزوری پلاستیک ها و کامپوزیت ها آغاز کرد. تبدیل کاتالیزوری به عنوان سومین روش بازیافت، از ضایعات و قراضه ها، مواد شیمیایی یا سوخت تولید می کند. این فرآیند گام نخست بازیافت مخلوط های پیچیده در مواد کامپوزیتی هواپیماهای اسقاطی است که منجر به استخراج الیاف کربن می شود. در این روش ATI قراضه های کامپوزیتی پس از خرد کردن، با کاتالیزور و جریان انتقال دمای حرارت مخلوط شده تحت فشار و دمای بالا فرآوری می شوند. محصولات جانبی تولید شده در این فرآیند اجزای فنلیکی هستند که برای استفاده در چسب های پایه فنلیکی صنعت چوب مورد بررسی قرار گرفته اند. شرکت هواپیماهای تجاری بویینگ

(BCA) با ATI همکاری می کند و به طور فعال درگیر فن آوری بازیافت الیاف کربن شده است. ضایعات ناشی از تولید قطعات کامپوزیتی منبع بالقوه بزرگ بیریا فرآیند بازیافت الیاف کربن ATI است.

BCA نمونه هایی از کامپوزیت های الیاف کربن پیش آغشته به اپوکسی و سخت نشده فراهم کرده است. نتایج نشان داده اند که فرآیند ATI می تواند رزین اپوکسی پخت نشده را حل کرده و الیاف کربن را بازیابی کند. بررسی الیاف کربن بازیافتی به وسیله ATI نشان می دهد که این الیاف ویژگی هایی مشابه با الیاف نو را به نمایش می گذارند. تفاوت اساسی در طول الیاف بازیافتی است. الیاف کربن بازیافتی الیاف کوتاه هستند و نمی توانند در کاربردهایی که به الیاف کربن پیوسته نیاز دارند استفاده شوند. تقاضا برای الیاف کربن آسیاب شده و کوتاه به طور فزاینده در حال رشد است. بازارهای الیاف کربن بازیافتی تعیین شده اند. گوشی های تلفن همراه و رایانه هیا قابل حمل با بدنه های سبک تر و نازک تر دو نمونه از این کاربردها هستند. دیگر بازارهای بالقوه برای الیاف کربن بازیافتی عبارتند از قطعات رزینی تزریقی، اجرای قالب گیری شده گرماسخت و تقویت کننده های صفحه ای بافته نشده. بهای الیاف کربن رده هوافضایی حدود ۴۵ دلار در هر کیلوگرم است. ATI هزینه بازیافت این الیاف کربن را حدود ۵ دلار در هر کیلوگرم تخمین می زند درصد وزنی الیاف کربن در قطعات کامپوزیتی هواپیما حدود ۶۵ درصد و میزان کامپوزیت مصرفی در هواپیماهای B۸AV، E/F۱۸F/A، ۲۲F/A و ۱۷C معادل ۶۲۰، ۱۳۳۰، ۷۰۳۰، ۲۴۲۰ کیلوگرم است.

با احتساب ۶۵ درصد وزنی الیاف کربن در قطعات کامپوزیتی هوافضایی در این هواپیماها به ترتیب ۴۰۰، ۸۶۵، ۱۵۷۰ و ۵۳۰۰ کیلوگرم الیاف کربن موجود است. اگر قیمت بازار الیاف کربن بازیافتی را حدود ۱۰ دلار در هر کیلوگرم در نظر بگیریم، ارزش افزوده تقریبی الیاف بازیافتی از این هواپیماها به ترتیب عبارتند از ۲۰۰۰، ۴۳۰۰، ۷۸۰۰، ۲۶۵۰۰ دلار.

با افزایش کاربرد کامپوزیت ها در هواپیماهای نظامی و تجاری، گزینه بازیافت نسبت به دفن و سوزاندن اهمیت بیشتری پیدا می کند. بویینگ در حال حاضر همکاری وسیعی با نیروی دریایی، ATI، AVS دارد تا اهداف، نگرانی ها و موضوعات قابل بحث در این زمینه را تبیین کنند. هنگامی که این عناصر درک شدند میزان کامپوزیت هایی که هم اکنون دفن می شوند کاهش قابل توجهی خواهد داشت. ضایعات کامپوزیتی در طبیعت تجزیه نمی شوند.