

کاربردهای تازه مواد کامپوزیتی لیفی در مهندسی مکانیک

New Applications for Fibre Composite Materials in Mechanical Engineering

By: U. Rosenbaum

Engineering Plastics Vol 2, No 1, 1989

ترجمه: هوری موهجی

مجله علوم و تکنولوژی پلیمر

واژه‌های کلیدی:

کامپوزیت، مهندسی مکانیک، میله پست، هرزگرده قالبگیری تزریقی

چکیده

کاربرد مواد کامپوزیتی لیفی در زمینه‌های گوناگون ساختارهای مهندسی متداول شده است. یکی از کاربردها در ساخت میل پستهای منبسط شونده است که از پلاستیک تقویت شده با شیشه (GRP) استفاده می‌شود. مزیتی که این ماده بر فلز دارد این است که میزان انبساط آن زیاد است. علاوه بر آن، خواص نارسائیهی مغناطیسی و الکتریسیته دارد. به این دلیل از مواد نامبرده در دستگاه جدا کننده خرده فلز استفاده می‌شود. کاربرد دیگر مواد کامپوزیتی در ساخت مخزنهای دوجداره است که سبکی و رسانایی گرمایی کم از ویژگیهای آنهاست.

سیلندرهای هیدرولیک و پاتاقانهای لغزشی موارد کاربردی دیگری می‌باشند که خواص انبساط گرمایی آنها زمینه مناسبی را در ساخت هرزگرده دستگاه تراش فراهم کرده است.

همچنین به دلیل اجتناب ناپذیر بودن استفاده از آذمهای آهنی در تولید امروزی، کاربردهای زیادی در زمینه یاد شده برای پلاستیکهای تقویت شده به وجود آمده است. برای نمونه از بازو که به طور مشخص زیر تنشهای خمشی زیادی قرار می‌گیرد و این مواد به دلیل اینکه نیروی فشار بالایی را تحمل می‌کنند، برای این کاربرد مناسب به نظر می‌رسند.

یکی از کاربردهای گسترده در دستگاههای قالبگیری تزریقی است که درباره هریک از موارد یاد شده بحث می‌شود (مترجم).

میل پستهای منبسط شونده ابزار دقیقی‌اند که با بزرگتر شدن قطر خارجی می‌توانند قطعات در دست ساخت را به هم محکم کنند. روش کار در شکل ۱ نشان داده شده است. یک سیستم پیستونی سیال هیدرولیک را در زیر قطعه منبسط شونده متراکم می‌کند که سپس به طور هم‌مرکز منبسط می‌شود. میل پستهای منبسط شونده در اصل حین تراش ناهمواری خارجی قطعات کار مورد استفاده قرار می‌گیرند [1]. عضو منبسط شونده باید سفتی کافی داشته باشد تا در برابر نیروهای ماشین تغییر شکل ندهد. با میل پستهای منبسط شونده در مقایسه با میل پستهای سنتی نتیجه بسیار بهتری در کارهای ماشین حاصل می‌شود، زیرا تنش یکنواختی در امتداد تمام طول به وجود می‌آید. بنابراین، قطعات با جداره بسیار نازک را می‌توان بدون تغییر شکل محکم کرد.

اگر سرعت منبسط شدن اعضاء منبسط شونده افزایش یابد، تابهای بیشتری در قطعه کار مجاز می‌شود و هزینه‌های تولید کاهش می‌یابد. قطعات منبسط شونده از نوع پلاستیک تقویت شده با شیشه، GRP (glass reinforced plastic)، نیز در دسترس می‌باشند که انبساط تا ۲٪ را مجاز می‌سازند. در مواردی که قطعات انبساطی فلزی سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرند، تغییر شکل پلاستیکی ۲٪ تا ۳٪ انبساط رخ می‌دهد. باید توجه داشت که چندلایی (لامینیت) تنها در جهت الیاف چنین سرعتهای انبساط زیادی را به دست می‌آورد. در راستای مورب بر جهت الیاف، اضافه تنش تنها با انبساط اندکی رخ می‌دهد و ترکهایی در ماتریس به وجود می‌آید. بنابراین، یک تقویت کنندگی صرفاً محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. معلوم شده است که نواحی انتهایی با تنشهای برشی حاصل همراه با انبساط محیطی مشکل آفرین‌اند. به علاوه، این ناحیه نماینده یک ارتباط بین عضو انبساطی و جزء اصلی است. این ناحیه، نه فقط باید نقش یک درزگیر را داشته باشد، بلکه مقداری حرکت ماشین کاری را باید به جزء اصلی منتقل کند. بنابراین، لایه‌گذاری مستقیم عضو منبسط شونده

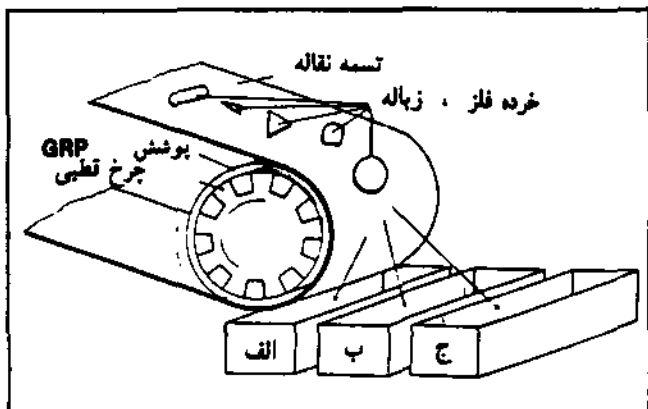
مقدمه

کاربرد اصلی مواد کامپوزیتی لیفی هنوز در زمینه‌های ساختاری سبک کلاسیک مانند هوانوردی و فضایی است. در این کاربردها از استحکام و سفتی قابل توجه نسبت به وزن بهره می‌گیرند. مواد کامپوزیتی لیفی همچنین چند خاصیت دارند که تا به حال کمتر مورد توجه قرار گرفته است، ولی کاربردهای احتمالی بسیاری در مهندسی دارند. این موضوع با استفاده از چند نمونه که به طور دسته‌جمعی در آخن توسعه پیدا کرده است نشان داده می‌شود.

۱ - میل پست منبسط شونده

Key Words: composite, mechanical engineering, clamping pin, spindle, injection moulding

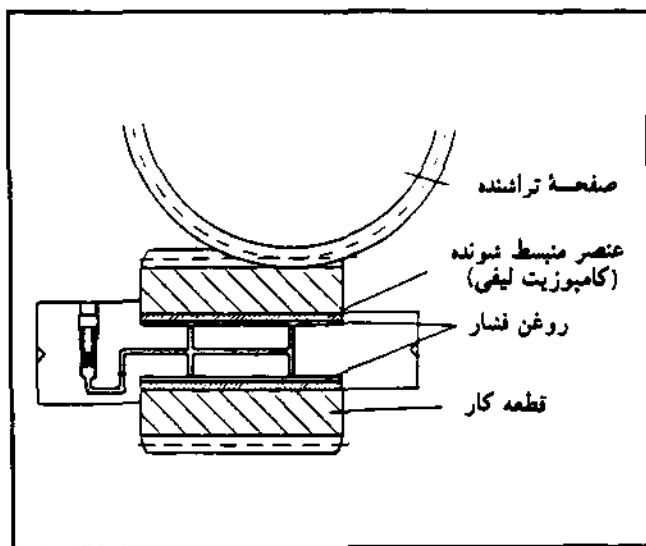
مختلف، قسمت قابل توجهی از فلزات سبک غیرمغناطیسی و غیر آهنی وجود دارند که تنها توسط روشهای جداسازی پیچیده در یک فرایند شناورسازی قابل بازیابی است. جداسازی توسط اصل القای مغناطیسی، همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، اقتصادی تر است. خرده ضایعات روی یک تسمه نقاله بر بالای چرخ قطبی که با سرعت می چرخد حمل می شود. مغناطیسهای دائمی قوی به چرخ قطبی متصل می شوند و یک میدان متناوب چرخان تولید می کنند [3]. قسمتهای رسانای الکتریسته به طور مماسی پرناب می شوند و تسمه نقاله در مسیر باقی می ماند. نارساها بدون تغییر باقی می مانند و به طور مستقیم پشت تسمه نقاله روی زمین می افتند. در ساده ترین مورد، جداسازی توسط ظرفهای جمع آوری پشت سرهم یا توسط تسمه نقاله های اضافی صورت می گیرد.



شکل ۲ - دستگاه جداسازی خرده فلزات.

الف) رسانا ممکن است مغناطیسی شود
ب) راسانا
ج) رسانایی که نمی تواند مغناطیسی شود.

مواد کامپوزیتی لیفی در دو مکان این دستگاه به کار برده می شوند. در یک نقطه مغناطیسهای مستقر روی چرخ قطبی چرخان باید در برابر نیروی گریز از مرکز محکم شوند. این عمل با پیچیدن رشته های GRP خالص در حد زیاد و به طور مستقیم روی چرخ قطبی انجام می شود. در بخش دیگر غلتک راهنما برای تسمه نقاله نباید رسانای الکتریسته باشد، زیرا توسط القا گرم می شود و این عمل باعث تضعیف میدان مغناطیسی در جدا کردن خرده فلز می گردد. به تدریج که قدرت میدان مغناطیسی با افزایش فاصله از مغناطیسها کاهش قابل توجه پیدا می کند، استحکام دیواره غلتک و شکاف هوای بین چرخ قطبی و غلتک باید کمتر شود. اگر هنوز ماده مغناطیسی در خرده ها وجود داشته باشد به شدت توسط میدان مغناطیسی جذب می شود و بنابراین غلتک راهنما نباید در اثر تماس با چرخ قطبی چرخان سریع، تغییر شکل زیادی پیدا کند. بنابراین یک غلتک نازک و در عین حال صلب مورد نیاز است. این وسیله نیز از GRP ساخته شد، زیرا CRP (پلاستیک تقویت شده با کربن) رسانای الکتریسته است.



شکل ۱ - میل بست منبسط شونده در تکنولوژی کامپوزیت الیاف.

روی جزء اصلی معقول است. در نخستین طرح، جزء اصلی با شیارهای محیطی ساخته شد. علی رغم پیچش این شیارهای محیطی در نسواهی انتقالی، «اثر حلقه O» مورد نظر عمل نکرد و در نتیجه نشتی رخ داد. در طرحی پیشرفته تر، لوله گرما نرم باریکی بین عضو منبسط شونده و سیال هیدرولیک قرار داده شد، و توسط حلقه های O درزگیری شدند. این لوله واسطه نیز برای چند لایه ای نقش محافظ در برابر مواد شیمیایی را به عهده می گیرد. روش پیچیدن تر به دلیل شکل هندسی ساده، فرایند تولید مناسبی است و یک چندلایی یکدست و تکرارپذیر را نتیجه می دهد. پس از پخت، میله منبسط شونده برگردانده می شود و زیر تنش قرار می گیرد تا چندلایه بتواند «شکل بگیرد». زبری سطح با تراش بیشتر به $5 \mu m$ کاهش پیدا می کند. مقاومت فرسایشی سطح مسئله ای را مطرح می سازد. پوششهای فلزی به کار برده نمی شوند، زیرا ماده پوششی در نقطه انبساط مورد نیاز به دلیل مدولهای بسیار متفاوت جدا می شود. نتایج بهتر را می توان با استفاده از یک آلیاژ نیکل - فسفر به دست آورد [2] که با کاهش شیمیایی روی چند لایه اعمال می شود.

این مثال نشان می دهد که GRP نه تنها دارای نسبت خوب استحکام به وزن است، بلکه به دلیل اینکه درجه بالایی از ازدیاد طول را مجاز می سازد می تواند مزایایی نسبت به فلز داشته باشد. سایر مزایای GRP که اغلب نادیده گرفته می شود، خواص نامغناطیسی و نارسانایی الکتریکی آنهاست. مثال بعد کاربرد آن را روشن می کند.

۲ - دستگاه جداسازی خرده فلزات

در جدا کردن خرده ضایعات مواد، قسمتهای فلزی (فولاد) مغناطیسی با استفاده از الکترومغناطیسها برداشته می شوند. در خرده های باقیمانده، همراه با ضایعات غیر قابل مصرف مانند زباله، شیشه یا پلاستیکهای

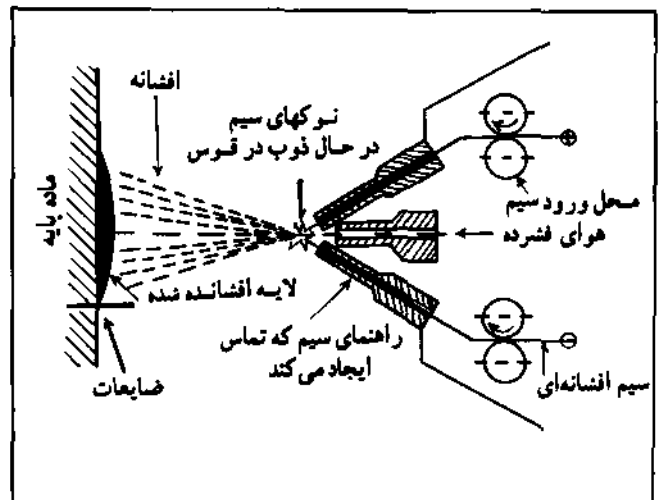
غلنگ راهنما توسط فرایند پیچش با مغزه یکپارچه ساخته شد تا هزینه‌های تولید پایین باشد.

این مورد تنها نمونه‌ای از کاربرد خواص غیرمغناطیسی و نارسائیی الکتریسته کامپوزیت‌های لیفی در مهندسی مکانیک است. بسیاری از کاربردهای دیگر به ویژه در مهندسی برق راه پیدا خواهد کرد.

۳ - اجزای بلاستیک تقویت شده با الیاف (FRP) پوشش‌دار
یک نقص بزرگ گرمانرمها در مقایسه با فلزات، تراوایی گازی بسالا و مقاومت فرسایشی پایین آنهاست. بنابراین مفید خواهد بود که خواص مناسب کامپوزیت‌های لیفی و فلزات تلفیق شوند.

فرایندهای پوشش‌دهی مختلف وجود دارند [4] که توسط آنها می‌توان لایه‌های فلزی تا ضخامت 1 mm را اعمال کرد. روش افشانه‌ای قوسی، فرایندی اقتصادی‌تر از همه به عنوان نمونه ارائه می‌شود.

دو سیم افشانه‌ای جداگانه با سرعت ورود ثابت به تنگ تریق منتهی می‌شوند (شکل ۳) و در آنجا توسط دو الکترود سوار بر هم تلاقی پیدا می‌کنند و در قوس ذوب می‌شوند. سپس ماده به دست آمده توسط هوای متراکم ذره پاش می‌شود و افشانه‌ای را تشکیل می‌دهد که می‌تواند توسط شکل افشانک تنظیم شود؛ و آن گاه به قطعه کار اعمال می‌گردد. اندازه قطعه کار محدودیتی ندارد و می‌تواند از اندازه یک سکه تا قطعات هواپیما به بزرگی 15 m^2 را شامل شود. تمام فلزات را می‌توان به عنوان مواد پوششی مورد استفاده قرار داد. یک کاربرد کامپوزیت‌های لیفی پوشش‌دار جایگزینی انبار دو جداره و ظرف‌های انتقال برای گازهای مایع است [4]. علاوه بر خواص وزنی سودمند پلاستیک‌های تقویت شده با الیاف، در این مورد رسانندگی پایین گرما هم مفید است. فرایند رشته پیچی یک روش ممکن ساخت است، زیرا روشی ارزان برای ساخت کالاهای با تقارن دورانی است. نخست اینکه یک لایه فلزی روی مندرل پیچش که به آن عامل جداکننده اعمال شده است، زده می‌شود و روپچی در رطوبت



شکل ۳ - نمودار افشانه قوسی.

صورت می‌گیرد. در نتیجه کامپوزیت خوبی از پوشش و چند لایه حاصل می‌شود. رزین با عامل‌های مناسب برای دستیابی به ضریب یکنواختی از انبساط گرمایی بر می‌شود. اگر نفوذپذیری گاز همچنان بیش از حد بالا باشد، سطح بیرون کالا می‌تواند دوباره پس از پخت پوشش داده شود.

این فرایند پوشش‌دهی اضافی می‌تواند برای هرزگرد دستگاه تراش که در قسمت بعد به آن اشاره خواهد شد، مورد استفاده قرار گیرد. جا دارد که یک باتاقان هیدروستاتیک (hydrostatic bearing) به جای باتاقان ضد اصطکاک به کار رود.

سیلندرهای هیدرولیک (hydraulic cylinders) و باتاقانهای لغزشی در همه نوع کاربردهای دیگر کامپوزیت‌های لیفی، پوشش دارند. در نخستین آزمایشها سیلندرهای هیدرولیک با تنگستن کاربید پوشش داده شدند [5] و سختی 2500 HV به دست آمد.

بلاستیک‌های تقویت شده با الیاف کربن زمینه کاربردی دیگری در مهندسی مکانیک کلاسیک به دلیل داشتن خواص انبساط گرمایی ویژه است [6]. نمونه آن هرزگرد دستگاه تراش است.

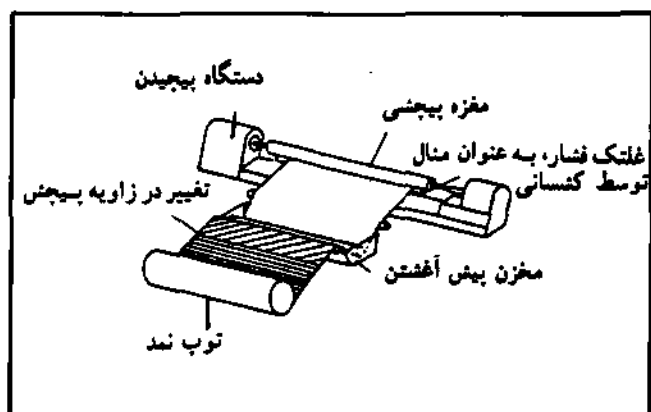
۴ - هرزگرد دستگاه تراش

در بسیاری از شاخه‌های مهندسی مکانیک، خطاهای مجاز هر چه کمتری برای اجزاء و ساخت مورد نیاز است. بنابراین، دستگاه‌های تراش جدید در سرعت‌های بسیار بالا کار می‌کنند تا بتوانند موجبات و اتلاف گرمای خوبی را از سطح برش فراهم کنند. هرزگرد اصلی روی یک باتاقان ضد اصطکاک به سرعت‌های تا $20,000$ دور در دقیقه می‌رسد. مقدار قابل توجهی گرما در باتاقان ایجاد می‌شود که موجب افزایش دما و بنابراین تغییر طول هرزگرد می‌شود [7]. چنین تغییر طولی اثر منفی بر دقت ساخت دارد. تا جایی که در دستگاه‌های بسیار دقیق آسیاب، باتاقانها در دمای ثابت توسط روغن سردساز نگهداری می‌شوند. چنین واحدهای کنترل دما دال بر هزینه‌های سرمایه‌ای اضافی و هزینه‌های جاری افزایش یافته‌اند. گروه پژوهشی ویژه (SRG) ۱۴۴ که در آخن (Aachen) تشکیل شد در ارتباط با صرفه‌جوییها در مواد خام و انرژی در مهندسی مکانیک کار می‌کنند. بنابراین در چارچوب چنین طرحی واضح بود که یک هرزگرد دستگاه آسیاب از CRP ساخته شود (شکل ۴). هدف از این جایگزینی ساخت هرزگردی است که با افزایش دما، تنها اندکی افزایش طول پیدا کند و بدین ترتیب واحد سردساز لازم نباشد.

اگر این طرح موفقیتی داشته باشد، قیمت بیشتر CRP در مقایسه با یک هرزگرد فولادی می‌تواند توجیه شود.

نیازهای مکانیکی در مورد این هرزگرد همانند هرزگرد فولادی است. فشار محوری، نیروهای خمشی و عرضی و همچنین پیچشی باید تحمل شوند. محاسبه دقیق چند لایه با استفاده از نظریه کلاسیک میدان به این نتیجه رسید که همراه با زاویه‌های 45° ، که برای انتقال بهینه است، زاویه‌های صفر درجه هم برای مقاومت در برابر فشار بالا و صلبی خمشی

خواص استاتیک (ایستا) شرایط لازم را دارد. در حال حاضر رفتار دینامیک (پویای) کاربرد بارها در یک آزمایش عملی در آزمایشگاه ابزار دستگاهی در RWTH (تکنولوژی تولید برای اجزای مواد کامپوزیتی الیاف غیر فلزی) آخن مورد بررسی قرار می گیرد.



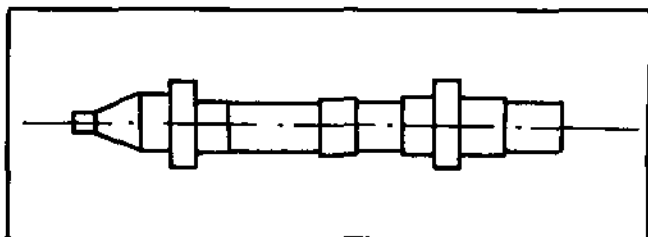
شکل ۶ - طرح پیشنهاد شده برای یک دستگاه پیچیدن دستمال کاغذی.

چگونگی انتقال محصولات نیمه تمام نساجی تا به حال روشن نیست. گروه تحقیقی ویزه ۲۳۲ (SRG۲۳۲) در RWTH آخن بررسی روی این شاخه از تکنولوژی تولید را تعهد کرده اند. تلاشی برای ساخت اقتصادی تر مواد کامپوزیتی لیفی صورت خواهد گرفت که آنها را به مهندسی مکانیک نزدیکتر می سازد. قدم اول در این مسیر استفاده از محصولات کامپوزیتی لیفی نیمه تمام است که توسط نمونه بازوی ربات نشان داده می شود.

۵ - بازوی ربات

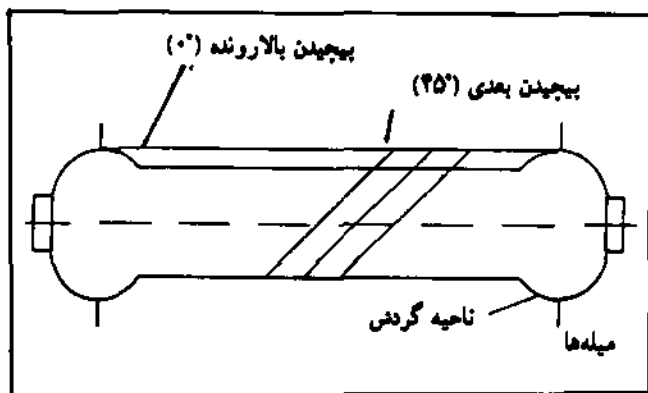
ساخت امروزی بدون استفاده از ربات تقریباً غیر قابل تصور است. شتاب بهتر اغلب مورد نیاز است و می توان با کاهش وزن بازوی حامل بالایی به آن دست یافت. شکل ۷ اتصالات یک بازوی ربات نمونه مانند: نقطه بست، یاتاقان محوری و اتصال دست را نشان می دهد.

نظارت بر حرکات دست با میله های لغزشی که توسط یاتاقان محوری کنترل می شوند امکان پذیر است. پیچیدگی حاصل از یاتاقان محوری اتصال دست، جایگزین کردن را ممکن نمی سازد. بازوهای حامل ربات به طور مشخص زیر تنش خمشی قرار می گیرند که امکان تغییر بازوی حامل را به میله ای سخت یا ساختاری مشبک مطرح می کند. چندی پیش میله گردهای GRP به صورت محصولات نیمه تمام در یک مجموعه تولیدی اولیه ساخته شدند که می توانستند نیروی فشاری بالایی را تحمل کنند [10]. الیاف کربن به صورت تک جهت یا زاویه کمتر از $\pm 20^\circ$ روی مغزه اسفنجی مقاوم در برابر فشار، اعمال شدند (شکل ۸). لایه بیرونی از یک لوله لیف شیشه ای با بافت مورب تشکیل شده است. این لایه نیز همانند مغزه اسفنجی از وا پیچیدگی الیاف کربن توسط تنش تراکمی میله



شکل ۴ - هرزگرد دستگاه تراش که از CRP ساخته شده است.

[8] لازم اند. ولی در این مورد انحراف اندکی از زاویه پیچشی بهینه وجود دارد، به طوری که تغییر ناپذیری دعا تا حدودی تقریبی است. پیچیدن در زاویه های 45° بدون هیچ مسئله ای ممکن است انجام گیرد. زاویه های صفر درجه را می توان تنها با استفاده از نگهدارنده ها به صورت میله های پیچشی، به دست آورد. بهر حال این میله های پیچشی یک نقطه ضعف به حساب می آیند که از یک سو می تواند منجر به خیز رشته های نتابیده (شکل ۵) یا از سوی دیگر باعث صدمه دیدن رشته های نتابیده در قسمت سر میله ها گردد. بنابراین زاویه صفر درجه در یک مرحله فراروش اضافی، که فراروش پیش محصولات نساجی انجام می گیرند، به کار گرفته می شود.

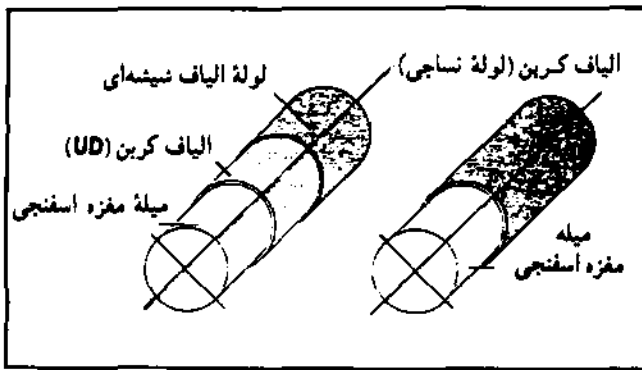


شکل ۵ - پایداری پیچیدن در اثر افزایش ضخامت در ناحیه گردش.

در این فرایند علاوه بر اینکه الیاف صدمه ای نمی بینند، زمان ساخت نیز به میزان قابل توجهی کوتاه می شود. به تازگی پیش آغشته های نساجی در دسترس قرار گرفته اند که در آنها تا ۴ لایه در زاویه های مختلف با نخهای نازکی به هم متصل شده اند [9].

برای ساخت چنین دوکهای، پیش آغشته های نساجی $45^\circ/0^\circ/45^\circ$ می توانند مورد استفاده قرار گیرند. طرح ماشین آلات اصلی برای فراروش این پیش آغشته های نساجی در شکل ۶ نشان داده شده است. استفاده از این مواد زمانهای ساخت را به طور قابل توجهی کوتاه می کند. دوکهای ساخته شده از ترکیب فرایندهای پیچشی و نساجی آزمایش شدند. نتیجه آن ضریب انبساط گرمایی 3×10^{-6} (فولاد 12×10^{-6}) بود. این عمل باعث صرفه جویی در سیستم سرمایه می شود.

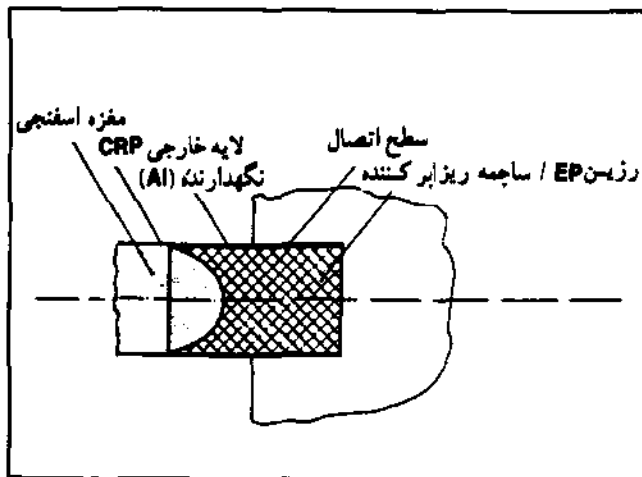
جلوگیری می‌کند. این میله‌ها در چند قطر و استحکام جداره مختلف وجود دارند و برای ساختارهای میله‌ای یا صلب بسیار مناسب‌اند.



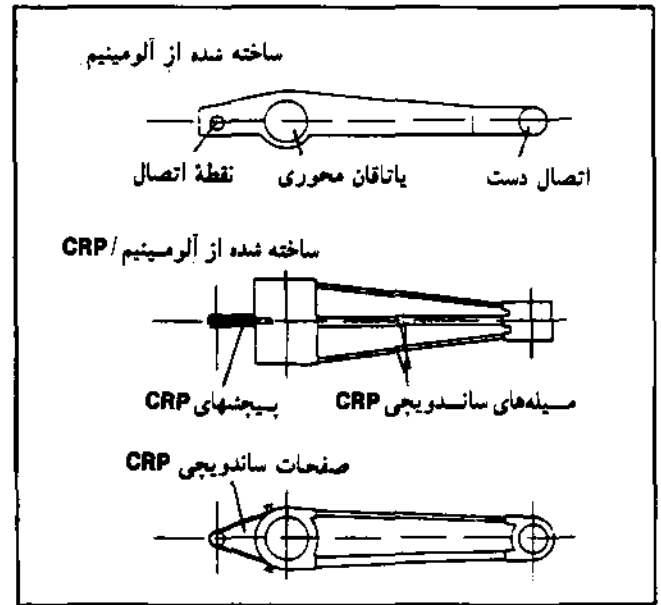
شکل ۸ - میله‌های ساندویچی CRP.

یک دستگاه هیدرولیک ارتباط دارد و توسط ستون‌هایی حرکت می‌کند. صفحه ابزار ممکن است بسته به اندازه ابزار و ساختار دستگاه، تا ۴۰۰۰ Kg وزن داشته باشد. برای این وسیله سبک وزن کلاسیک، تنها مواد سبک و در عین حال خیلی صلب در نظر گرفته می‌شوند. CRP در عین صرفه‌جویی در وزن، در این مورد انبساط گرمایی کمتری نسبت به فولاد ارائه می‌دهد. صفحه ابزار دستگاه قالبگیری تزریقی هیدرولیک با نیروی بسته شدن ۲۵۰ KN از یک ماده جایگزین ساخته شد [12]. از یک سو، صفحه ابزار اصلی می‌تواند با استفاده از ماده سبکتر بازسازی شود. از سوی دیگر، ساختاری که کاملاً منطبق با ماده یاد شده باشد می‌تواند به‌طور قابل توجهی مقدار ماده مصرفی و هزینه‌های ساخت را کاهش دهد. نقاط تقاطع صفحه باید دارای شرایط زیر باشد:

- باید امکان محکم کردن قالب وجود داشته باشد،
- صفحه باید به درون ۴ ستون راهنما سوق داده شود،
- نیروهای بستن و باز کردن باید از سیلندرها و هیدرولیک به درون ابزار منتقل شود،
- بیرون انداز باید بتواند یک ضربه معین را وارد آورد.



شکل ۹ - اعمال بارها به درون میله‌های ساندویچی.



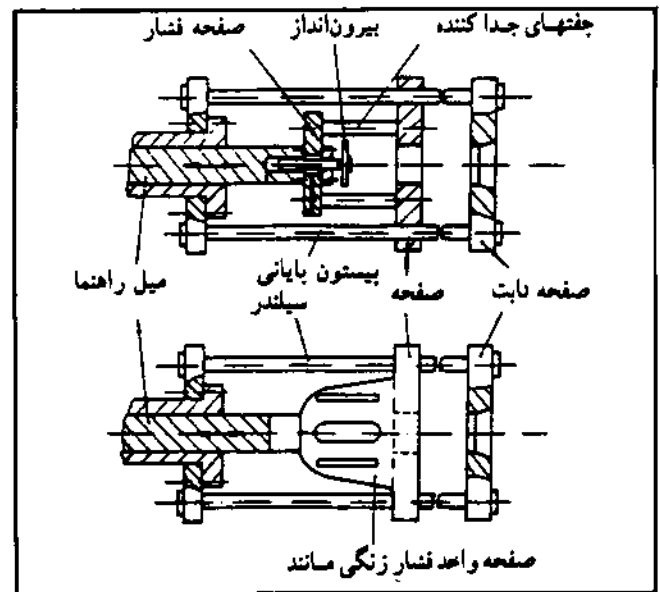
شکل ۷ - بازوی آدم آهنی با قسمتهای نیمه تمام CRP.

در بازوی ربات به یک ساختار سه میله‌ای (شکل ۷) دست یافته‌اند که در آن قسمت تحتانی نیروهای تراکمی و قسمت فوقانی نیروهای کششی را تحمل می‌کند. محاسبات نشان داد که میله‌های ساندویچی CRP دارای صلبی و استحکام کافی بود. نیروهای کششی و فشاری با چسب زدن تحمل شدند ولی آزمونهای اولیه نشان داد که میله‌های با جداره نازک زیر نیروهای عرضی زیاد و غالب در گیره‌ها تاب نمی‌آورند [11]. سازنده، ضخیم کردن داخلی چند لایه و جایگذاری صفحه‌های نگهدارنده را به عنوان وسیله کمکی توصیه می‌کند. چون چنین میله‌هایی هنوز در دسترس قرار نگرفته‌اند، مغزه اسفنجی از انتهای میله برداشته شد و توسط مخلوط رزین و ساچمه ریز شیشه‌ای جایگزین گردید. برای کسب انتقال یکنواخت در صلبی، پر کردن باید تا حدودی هذلولی شکل باشد (شکل ۹). وقتی بار به این صورت اعمال شود، نیروهای عرضی حاصل بهتر انتقال می‌یابند. نقاط بست با پیچیدن CRP و یک صفحه ساندویچی اضافی به پاناقان محوری متصل می‌شود.

۶ - واحد پایانی دستگاه قالبگیری تزریقی

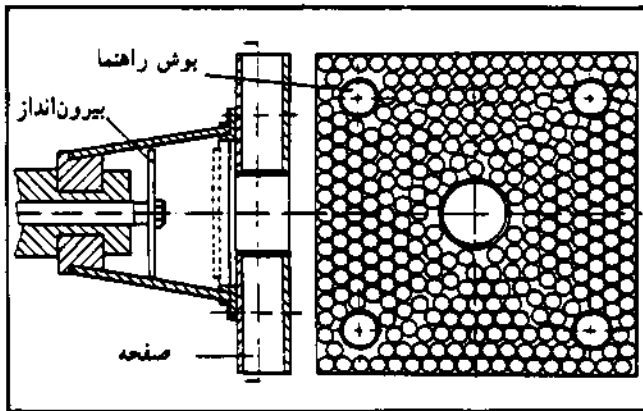
زمینه کاربردی دیگر برای کامپوزیت‌های لیفی در دستگاه‌های قالبگیری تزریقی سریع یافت می‌شود که کالاهای با جداره نازک به تعداد زیاد تولید می‌کند. حرکت‌های باز و بسته شدن ابزار باید تا حد امکان سریع باشد تا بتوان به زمانهای چرخه کوتاه دست یافت. صفحه متحرک قالب ممکن است از جنس کامپوزیت لیفی باشد این صفحه به یک مکانیسم مفصلی یا

در ساختار فلزی، نیروهای حاصل از سیلندر هیدرولیک به مجموعه صفحه بیرون انداز سنگین توسط یک بالشتک فشار و جدا کننده‌های پیچی (threaded spacers) منتقل می‌شود. بالشتک فشار و جدا کننده‌های پیچی با هم واحد فشار زنگ مانند را به وجود می‌آورند (شکل ۱۰). در این طرح تعداد بخشها، همراه با ماشین‌های ضروری، اتصالها و سطوح رابط کاهش زیادی یافته است. همچنین شکل مناسب برای مواد کامپوزیتی لیفی است، زیرا الیاف می‌توانند در جهت نیرو آرایش یابند و بدین ترتیب استفاده بهینه از ماده تضمین می‌شود. با وجود این، مجموعه و تنظیم پذیری میله بیرون‌انداز و عمل هماهنگ حسگرهای آگاه ساز بیرون‌انداز با طرح بسته بسیار محدود می‌شوند. ولی، برای یک دستگاه قالبگیری تزریقی که سریع عمل کند و تولید انبوه داشته باشد، زمانهای سوار کردن اهمیت زیادی ندارد. بیرون انداز می‌تواند با تقسیم واحد به مجموعه صفحه بیرون‌انداز و واحد فشار سوار شود.



شکل ۱۰ - واحد بایانی دستگاه قالبگیری تزریقی.

تحمل کنند [13]. محاسبات نشان داده است که شکل هندسی داده شده حداکثر تنش مجاز روی لانه‌زنبوری آلومینیومی را بدون هیچ درجه ایمنی نتیجه می‌دهد. در این مورد مشخص شد که همان محصولات نیمه‌تمام ساندویچی CRP [10] مصرف شود (شکل ۹) که پیش از این برای بازوی ربات به کار گرفته می‌شد و در نتیجه ساخت مجموعه صفحه بیرون‌انداز به عنوان ساختار ساندویچی انجام گرفت. حدود ۲۵۰ عدد از چنین میله‌های فشاری بین دو صفحه پوشاننده تنگاتنگ بسته‌بندی می‌شوند (شکل ۱۱). میله‌ها یکدیگر را نگه می‌دارند و تنش روی هریک از میله‌ها به حداقل می‌رسد. بدین ترتیب درجه بالایی از ایمنی در برابر شکستن در اثر تورم یا ترک حاصل می‌شود. دو صفحه پوشاننده توسط پیچهایی به هم بسته می‌شوند که نیروهای کششی حاصل را نیز منتقل می‌سازند. توجه خاصی باید به اعمال بار روی میله‌های CRP مبذول شود. بررسیهای اولیه نشان داد که زیر بار عمودی روی دو انتهای آزاد شکست الیاف بسیار پایینتر از تنش فشاری مجاز میله، به دلیل ترک خوردن در ناحیه انتقال، روی داد. از این رو، شکافها با اسفنج پلی‌اورتان سختی پر شدند که اثر نگهدارنده دارد و از ترک خوردن دو انتهای میله جلوگیری می‌کند.



شکل ۱۱ - واحد بست از جنس CRP.

واحد فشاری

همانند واحد بست، مهم است که واحد فشار موازی باشد تا بسته شدن موازی دو نیم ابزار تضمین شود. برای به‌دست آوردن اتصالات موازی بین واحد فشار و سیلندر هیدرولیک صفحه بیرون‌انداز، اتصالات واحد فشار باید از فولاد ساخته شود تا بدون هیچ مسئله‌ای کار ماشین‌های ظریف ممکن شود. در واحد فشار باید فضای کافی برای حرکت بیرون‌انداز باشد. همان‌طور که در بالا اشاره شد، پاسخ مناسب برای الیاف و بهینه از نظر وزن، ساختار زنگ مانند CRP است. یک مخروط ناقص از CRP دو مزیت دارد: اول اینکه حجم بالشتک فشار کاهش می‌یابد و دوم اینکه اتصال مثبت و غیرمثبت با رابطها می‌تواند ایجاد شود. زاویه ماریج ۹٪ انتخاب شد، با این نتیجه که ارتباط نیروی محیطی با بار محوری فقط ۱۶٪ است. بنابراین، جهت اصلی تقویت‌کنندگی جهت محوری است.

نقش واحد بست این است که نیمی از ابزار را بگیرد، در مرکز قرار دهد و مطمئن شود که به‌طور موازی درون متونهای راهنما جای گرفته است. نیروی حاصل از بسته شدن توسط واحد فشار و از طریق واحد بست به‌طور یکنواخت به‌داخل ابزار منتقل می‌شود. بنابراین تنها تغییر شکل جزئی واحد بست برای جلوگیری از وارد شدن بار اضافی روی قالب قابل تحمل است. در مرحله باز شدن ابزار، نیروهای کششی نیز باید انتقال یابند. ساختار ساندویچی یک طرح سبک وزن کلاسیک است. صفحات فلزی به عنوان سطوح پوشاننده می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند که واحد فشار و نیمی از ابزار با لیه‌ها به آنها متصل می‌شوند. تا به حال لانه‌زنبورهای آلومینیومی همراه با لانه‌زنبورهای اسفنج کاغذی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، زیرا آنها می‌توانند فشارهای بسیار زیادی را

ولی تقویت کنندگی محیطی همچنان ضروری است که در غیر این صورت کماتش رخ می‌دهد. در ساخت واحد فشار، پیچیدنهایی محیطی با استفاده از دستگاه تراش پیچشی متداول می‌تواند اعمال شود. الیاف در جهت محوری باید توسط دست به صورت ناپیوسته یک جهته اعمال شوند. توجه خاصی باید به اعمال باربر بالشتک فشار مبذول شود. الیاف باید دقیقاً در مقابل بالشتک فشار قرار گیرند تا هیچ گونه بی‌نظمی تضعیف کننده چندانیه بروز نکند. اعمال بار بعدی فقط پس از پخت رزین صورت می‌گیرد. انتهای الیاف جهت کسب ابعاد نهایی تراش داده می‌شوند تا سطوح تماس تختی تشکیل و انتقال یکنواخت لیف - فلز حاصل شود [12]. واحد فشار مجموعه و صفحه بیرون‌انداز پس از نصب برای فرونشینی صحیح مورد آزمون قرار گرفتند. تنها هنگامی که بار برای نخستین بار اعمال شد، نشانه کمی از استقرار ظاهر شد. ازدیاد طول حاصل شده در اثر اعمال بار بیشتر کوچکتر از ازدیاد طول ۰/۲ درصد مجاز بود. هیچ گونه وابستگی در کاسه مخروط مشاهده نشد. در حال حاضر حد خستگی این واحد بست در یک دستگاه قالبگیری تزریقی در IKV مورد آزمون قرار می‌گیرد. صرفه‌جویی قابل توجهی در وزن به مقدار ۵۸٪ به دست آمد. وزن واقعی حتی در واحد بست مختلط بستگی به قطعات فولادی به کار رفته دارد.



واضح است که با استفاده از کامپوزیت‌های لیفی سازندگان در موضعی می‌باشند که از روش سنگین ساخت بدون هیچ گونه کاهشی در استحکام منحرف شوند. روش ساخت فولاد سنگین هنوز برای پایه ابزار ماشین‌یک دستگاه تراش به کار می‌رود، زیرا تا به حال تنها روشی است که صلبی لازم را به دست می‌دهد. جایگزینی مواد برای چنین پایه‌ای در بخش بعدی شرح داده می‌شود.

پایه ابزار دستگاه تراش یک ماشین آسیاب سریع نمونه‌ای دیگر از جزء دستگاهی به سرعت شتاب گیرنده است. چنین دستگاههایی به عنوان مثال برای کار ماشین‌های نهایی چرخ دنده‌ها (شکل ۱۲) مورد استفاده قرار می‌گیرند. این پایه با فرکانس ۳ تا ۵ هرتز زیر چرخ آسیاب به جلو و عقب ارتعاش پیدا می‌کند. پس از هر ارتعاشی چرخ به اندازه یک دندانه می‌چرخد.

علوم تکنولوجی پر سال پنجم، شماره اول

آزمون معلوم شد صفحات پایه چنانچه تنها زیر تنش فشاری قرار گیرند، معمولاً ارتعاش اندکی دارند [15]. این ویژگی می تواند به تقویت کنندگی کامل تک جهته مربوط باشد. در چنین قسمتهای دستگاه شتاب گیرنده سریع، تعجبی ندارد که تنشهای روی دهد که به هنگام تعیین ویژگیهای فنی در نظر گرفته نشده باشند. در روش متداول ساخت فولاد همسانگرد چگونگی جذب تنشها شناخته نشده اند. در سایر انواع اولیه، تقویت کننده های ویژه معرفی شدند که این ارتعاشها را خفه می کنند.

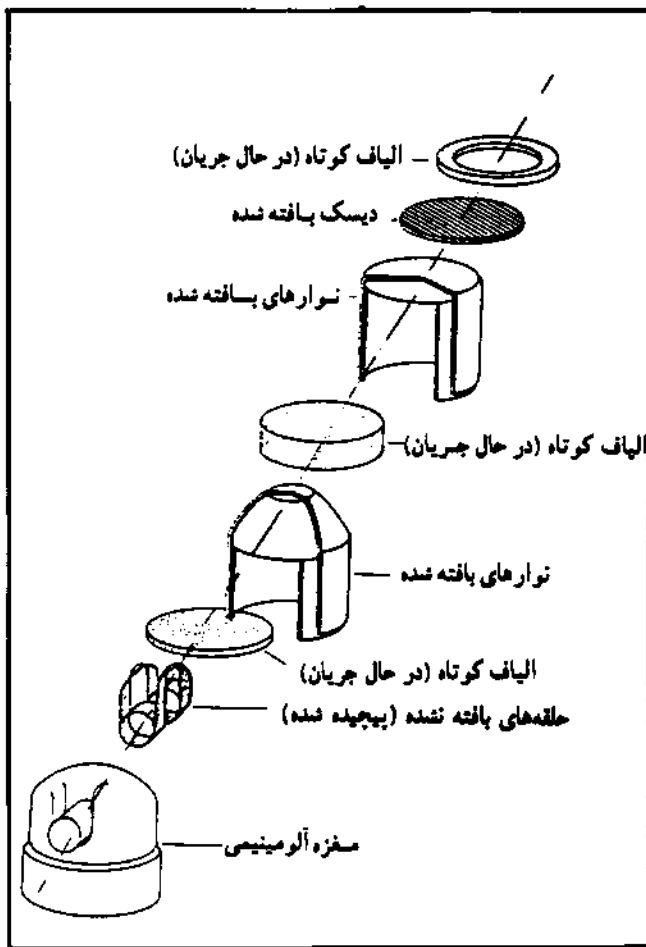
جزء دیگری که به سرعت ارتعاش پیدا می کنند، پیستون یک کمپرسور رفت و برگشتی است. بنابراین، امکان یافتن یک جایگزین از نوع CRP مورد توجه قرار گرفت.

۸ - پیستون CRP

در صنعت مواد غذایی و صنعت شیمیایی، هوای مtrakم فاقد هرگونه روغن مورد نیاز است. این امر لزوم استفاده از مواد جدید و ساختارهای کمپرسور دارد که مسائل روان کنندگی و سایشی بین پیستون و بوش، و پیچ پیستون و پیستون را حل کند. یک راه حل ممکن در کاربرد حلقه های کرینی نهفته است [16]. کرین تنها می تواند برای اهداف درزگیری و یاتاقان مورد استفاده قرار گیرد، زیرا ماده ای است که استحکام کششی آن زیاد نیست. از CRP می توان در این مورد استفاده کرد که علاوه بر خواص خود روان کنندگی، دارای میزان شقی بالا و مقاومت شیمیایی عالی است و در نتیجه کاهش در حجم ماده نوسان کننده حاصل می شود. ولی، فرایندی باید یافت که امکان آرایش دقیق الیاف در وضعیت مورد نظر را فراهم کند. رشته پیچی احتیاج به زمانهای ساخت طولانی، بر اساس پیچیدگی قطعه خاص دارد [17]، به همین دلیل یک فرایند قالبگیری فشاری توسعه یافت [18] که ساخت یک پیستون از جنس CRP (شکل ۱۳) با کاهش وزن پیستون به مقدار ۴۳٪ در مقایسه با پیستون آلومینیومی مشابه را ممکن سازد. این کاهش وزن اثر بسیار مثبتی بر درجه کارایی درزگیری نیز دارد. CRP انتخاب مسلّمی برای موتورهای انبساطی علاوه بر کمپرسورهاست. موتور استرلینگ (Sterling) قبل از همه مورد توجه قرار خواهد گرفت، زیرا دماهای پیستون کمتر از موتورهای اوتو (Otto) می باشند. ولی، بهبود میزان تأثیر با جایگزین کردن ماده میله ارتباطی به دست می آید.

۹ - میله ارتباطی CRP

تقاضاهای بسیار فزاینده ای برای موتورهای اوتو وجود دارد. عوامل مهم عبارت اند از: کاهش نشر صوت، افزایش سرعت مجاز ماکسیمم و بهبود حساسیت. علاوه بر تمام این اهداف بدیهی است که کاهش وزن میله ارتباطی نیز مورد نظر است. به این دلایل یک میله ارتباطی هبیرید همراه با عناصر کششی و فشاری CRP با همکاری شرکتهای صنعتی مختلف توسعه یافت (شکل ۱۴) [19].



شکل ۱۳ - پیستون CRP.

قبل از توسعه یک شکل هندسی بهینه و فرایند ساخت مربوط به آن، موضوع مقاومت در برابر محیطهای مختلف باید روشن می شد. معلوم شد که تنها چند سیستم مقاومت درازمدت در برابر پیر شدن در روغن داغ قوی دارند. مرحله دوم یافتن طرحی مناسب ماده بود. به زودی روشن شد که سطوح یاتاقان را نمی توان بدون بروز مشکلاتی جایگزین CRP کرد، زیرا احتمال تشکیل ترک به دلیل فشار بالای روغن وجود دارد. ولی ممکن است با جایگزین کردن ماده عناصر کششی و فشار، کاهش قابل توجهی در ماند (inertia) حاصل شود. نیروهای فشار توسط واحد ویژه فشار جذب می شوند که اصولاً در جهت طولی تقویت می گردد. نیروهای کششی توسط رشته پیچی CRP که دو نقطه یاتاقان را به هم وصل می کند، جذب می شوند. این میله های ارتباطی هبیرید در یک موتور اوتو در حال کار مورد آزمون قرار گرفتند و نتایج امیدوار کننده ای به دست آمد. اول اینکه مدت لازم برای عمر کاری به دست آمد؛ دوم اینکه نشرهای صوتی با مقدار ۷ دسیبل (adjusted decibel) کاهش پیدا کرد. کاربردهای احتمالی بیشتری برای صنعت اتومبیل بر اساس این نتایج بررسی می شوند. ولی، فنرهای تخت توسط صنعت اتومبیل سازی مورد تأیید قرار گرفته اند.

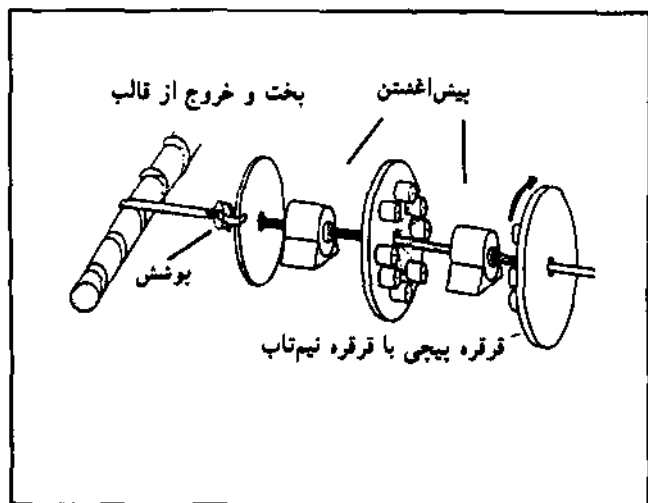
نخستین کاربرد پلاستیکهای تقویت شده با الیاف بلند در مقیاس وسیع را می توان در فنرهای تخت خودروهای ساخته شده از GRP (پلاستیک تقویت شده با شیشه) مشاهده کرد. فنرهای تخت GRP به دلایل زیر برتری دارند.

- وزن سبکتر (۴۵٪ - ۲۵٪ نوع فولادی)،

- رفتار شکست بسیار بهتر،

- مصرف انرژی کاهش یافته در ساخت.

صرفه جویی در وزن نه فقط وزن بار مجاز و در نتیجه سوددهی را افزایش می دهد، بلکه به روشنی دینامیک محرکه را بهبود می بخشد، چون فنر تخت به وزن شاسی بدون فنر نیز کمک می کند.

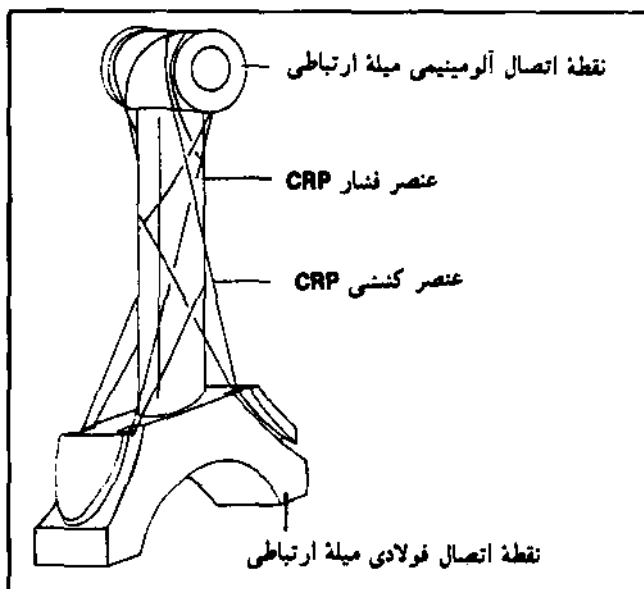


شکل ۱۵ - دستگاه ساخت فنرهای مارپیچی از مواد کامپوزیتی.

۱۱ - جعبه دنده تسمه دوار

برای مکانیسمهای محرک ربات و کارهای تعیین موقعیت مشابه، این شرایط مورد نظر است: گشتاورهای با پیک بلند، شقی پیچشی، ساختار فشرده با بازی کم. جعبه دنده‌های ویژه مانند محرک هماهنگ (harmonic drive) یا جعبه دنده‌های دایره‌ای به حد پاینتری از لحاظ وزن رسیده‌اند که به دلیل روش ساخت مورد استفاده برای فولاد هنوز از آن حد تجاوز نشده است. تا به حال فولاد به عنوان یک ماده غیر قابل اجتناب بوده است، زیرا نیروهای حاصل تنها توسط چند دندانه انتقال می‌یابند و بنابراین فشارهای زیادی بر واحد سطح وجود دارد. هرچس که پلاستیکها، از جمله پلاستیکهای تقویت شده با الیاف، برای قطعات دندانه دنده مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید تضمین شود که در حد امکان تعداد دندانه‌های دنده بیشتری در یک زمان روی هم انطباقی یابند و با جور کردن مناسب مواد، یک توزیع خوبی از فشار روی لبه‌های دندانه دنده حاصل شود. با در نظر داشتن این عوامل، جعبه دنده سیاره‌ای با انتقال نیرو توسط تسمه دوار در IKV توسعه پیدا کرد (شکل ۱۶).

این ساختار عیبهای جعبه دنده‌های تسمه دوار معمولی مانند صلیبی کم و نیاز به فضای بسیار زیاد را ندارد، چون طولهای آزاد تسمه تقریباً ناچیز است. نسبتهای کاهش بالا که برای جای دادن دقیق حدود ۱:۲۰ تا ۱:۱۰۰۰ لازم است با ساخت دنده‌های دیفرانسیلی در یک مرحله تحقق



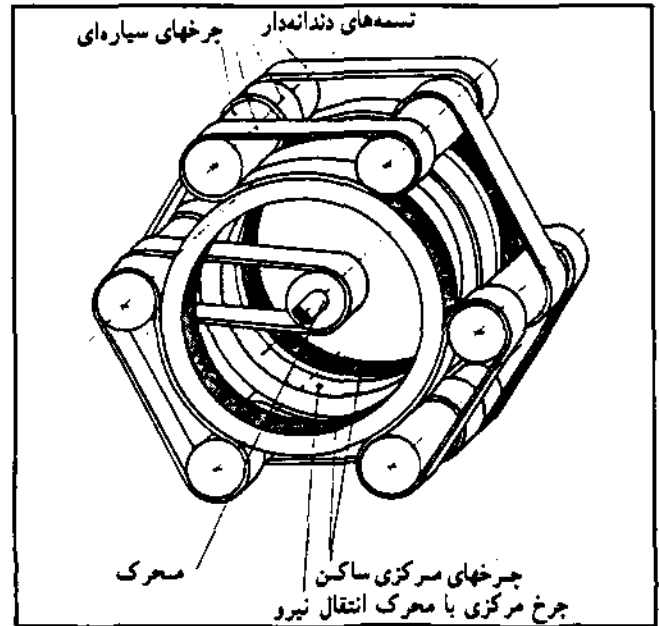
شکل ۱۶ - میله ارتباطی CRP.

انرژی صرف شده در حین ساخت نصف مقدار لازم برای نوع فولادی است، به طوری که ساخت اقتصادی تری در درازمدت انتظار می‌رود. فرایند ساخت نیاز به بهینه‌سازی بیشتر دارد. در مقابل فنر تخت فولادی، نوع GRP پس از چند دور تنش/بار نمی‌شکند. یک عامل تعیین‌کننده، سرعت رشد ترک بسیار آهسته عمود بر الیاف است [21]. نتیجه آن کاهش ثابت ظرفیت حمل بار است ولی خواص کاری در شرایط اضطراری بسیار بهتر از نوع فولادی است. در حال حاضر، فنرهای تخت توسط رشته پیچی یا پولتر وزن ساخته می‌شوند. توزیع طول الیاف در امتداد طول فنر نمی‌تواند تغییر یابد، زیرا برای بهره‌برداری بهینه از ماده ضروری است. تا به حال این امر تنها برای پیش‌آغشته‌ها امکان داشته است. نظارت بر یکنواختی خواص ممکن است آسانتر باشد و درجه عدم پذیرش کمتر است. ولی، به دلیل قیمت پیش‌آغشته‌ها، هنوز ساخت سودآور در مقیاس وسیع ممکن نیست. فنرهای مارپیچ همانند فنرهای

	میلہ گہرہ ای قابل انبساط	جدا کنندہ خردہ قطر	هرزگرد ابزار دستگاه تراس	بازوی ریبات	واحد بست (دستگاه، فالگیري تزیینی)	پایه ابزار ماشین	CRP	پلورل (Pleuril)	CFK	فتر تخت	GRP	چعبه فندہ قسمه دوار	قطعات FRP پوشش دار
میلہ گہرہ ای قابل انبساط	●												
جدا کنندہ خردہ قطر		●	●										
هرزگرد ابزار دستگاه تراس								●					
بازوی ریبات								●	●				
واحد بست (دستگاه، فالگیري تزیینی)								●	●				
پایه ابزار ماشین								●	●				
CRP								●	●				
پلورل (Pleuril)								●	●				
CFK									●	●			
فتر تخت										●			
GRP											●		
چعبه فندہ قسمه دوار												●	
قطعات FRP پوشش دار													●

● عامل اصلی
● عامل فرعی

- [1] Literature from Fa. Schunk, Lauffen / Neckar, 1986.
- [2] NOVOTECT—a metallic glass. Literature from Schering AG, 1986.
- [3] Development of process and equipment for the separation of NE metals from refuse. BMFT No. FB-T85 / 152.
- [4] Bittner D. Gas permeability of GRP laminates. Unpublished dissertation at the IKV, 1987.
- [5] Bittner D. verbal communication with the Bittner Kunststofftechnik firm, Aachen.
- [6] Bieling. Determination of the mechanical and thermal properties of carbon reinforced plastics. Dissertation at the RWTH, Aachen.
- [7] Bourdon E. Development of a main spindle for machine tools of CRP. Unpublished dissertation at the WZL, 1984.
- [8] Oehmke F. Optimisation of a CRP main spindle. Unpublished dissertation at the IKV, 1985.
- [9] Outstanding strength properties through multi-axial magazine shot loading. Special printing 'Kettenwirk-praxis' series, No. 1/86. Karl Mayer GmbH, Obertshausen.
- [10] CRP sandwich rods for lightweight constructions. DFVLR News, No. 48 (1986).
- [11] Bruns A. Reconstruction of a robot arm of fibre composite material. Unpublished work at the IKV, 1987.
- [12] Baumer Th. A CRP closing unit for an injection moulding machine. Unpublished dissertation at the IKV, 1987.
- [13] Ory H. Fibre Composite materials part 3, Construction-Regulation-Manufacture. Basics of calculation. Reprint of lectures at the RWTH Aachen, 1985/6.
- [14] Schmidt C. E. Machine stand built with fibre composite material. Unpublished dissertation at the IKV, 1987.
- [15] Kerstiens P. Verbal communication from the Institute for Production Technology, of the Fraunhofer Society, Aachen.
- [16] Bouche W. Piston seals, Springer Verlag, Berlin 1968.



حرکت و حرکت انتقال نیرو به طور هم محور توسط چرخهای مرکزی بیرونی صورت می گیرد. چرخهای سیاره ای یا تسمه دندانه دار دو طرفه، یک محفظه خودنگهدارنده بدون حاملهای سیاره ای اضافی را تشکیل می دهد که بر روی چرخهای مرکزی باز می شود و توسط تسمه دوار بعدی از چرخ دنده محرک به حرکت دایره ای تبدیل می گردد. این حرکت دورانی از راه تفاوت تعداد دنده های بین چرخهای مرکزی / سیاره ای بیرونی و درونی به یک حرکت نسبی چرخهای مرکزی منجر می شود که توسط حرکت محرک خارجی نشان داده می شود. برای تکمیل خواص مثبت، امکان تنظیم بدون بازی و سهولت نگهداری وجود دارد.

ولی، از نظر اجرایی عامل تعیین کننده این است که یک جعبه دنده دقیق برای اندازه حرکت بالارامی توان به طور کامل از پلاستیک با استفاده از فرایند تولید اقتصادی مانند قالبگیری تزریقی یا فشاری و بدون نیاز به ساخت ماشینهای دقیق و گران اجزای عمل کننده ساخت. با تسمه های دندانه دار موجود امروزی، فضای لازم در واقع بیشتر از جعبه دنده های سنتی قابل مقایسه است. ولی، وزن کمتر و هزینه های کمتر برای تولید انبوه از جمله عواملی هستند که از نظر اجرایی به سود یک جعبه دنده تمام پلاستیکی می باشند.

در پایان، تمام اجزایی که به آنها در این مقاله اشاره شد در شکل ۱۷ نشان داده شده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود اغلب عوامل جانبی وجود دارند که بر انتخاب ماده کامپوزیتی لیفی و همچنین عامل اصلی اثر می‌گذارد.

مصرف دارد و بر پایه دی تیوکارباماتهای فلزات واسطه است. وی همچنین ضد اکسندهای پایدارتر و پایدارکنندههایی را کشف کرد که به طور شیمیایی به پلیمر متصل می‌شوند.

جرالد اسکات در سال ۱۹۲۷ در تاینموت انگلستان شمالی متولد شد. در سال ۱۹۵۱، پس از فارغ التحصیل شدن با رتبه اول در شیمی از کالج بالیول آکسفورد، با راهنمایی دکتر واترز پژوهش در زمینه شیمی رادیکال آزاد را شروع کرد. سپس در سال ۱۹۵۳ وارد بخش مواد رنگی ICI شد و نیز در سال ۱۹۵۹ به عنوان مدیر بخش پژوهشهای متفرقه پلیمر تعیین شد. وی در سال ۱۹۶۷ کرسی علوم پلیمر را در دانشگاه استون بیرمنگام به دست آورد. اسکات در سال ۱۹۸۳، از دانشگاه آکسفورد دکترای علوم گرفت.

از سال ۱۹۷۰، اسکات با سمت استادی به عنوان مشاور در مؤسسه پژوهشی لاستیک سری لانکا کار می‌کند. وی همچنین رئیس مشاوران صنعتی مؤسسه پژوهشی زمانمندی مواد پلیمری در چین است. بیش از ۵۰ اختراع در اداره اختراعات انگلیس به نام وی به ثبت رسیده است و مؤلف بیش از ۲۰۰ مقاله در مجله‌های علمی است. وی ویراستار مجموعه انتشارات علوم کاربردی السویر با نام "یشرفتها در پایدار سازی پلیمر" است و در سال ۱۹۶۵ کتاب "اکسایش اتمسفری و ضد اکسندها" را تألیف کرد و نیز در ۱۹۸۵ با استاد گراسی در تألیف کتاب "تخریب و پایدار سازی پلیمر" همکاری داشت.

جرالد در ۱۹۵۱ با جون لاو ازدواج کرد که به عنوان پرتونگار کار می‌کرد تا زمانی که فرزندان و سپس نوه‌ها اولویت پیدا کردند. آنها سه پسر دارند که هیچ‌گونه توجهی به علم ندارند. مدیر صحنه تئاتر، عکاس حرفه‌ای و مدیر مرکز تفریحات انعکاسی از وجه غیر علمی ضمیر والدینشان است که به اپرا، کوهنوردی و عکاسی علاقه زیادی داشتند.

Polymer News

Vol.13, No.1 (1988.)

- [17] Schmelzer E. Manufacture of a piston by filament winding, Unpublished Work at the IKV, 1980.
- [18] Hawelka K. Compressor pistons of carbon-reinforced plastics. Unpublished work at the IKV, 1985.
- [19] Dollman G. Connecting rods of carbon-reinforced plastic. Unpublished work at the IKV, 1983.
- [20] Neise E. et al. Processing of fibre composite materials - developments for the future. Block 10, 12th IKV colloquium, Aachen, 1984.
- [21] Seiler U. The design of statically and dynamically stressed components made of fibre composites, using the example of GRP leaf springs. Dissertation at the TWTH Aachen, 1987.
- [22] Hille E.A. Filament winding technology - methods for the manufacture of geometrically complicated components. Dissertation at the RWTH Aachen, 1981.

Gerald Scott

جرالد اسکات

با اینکه پلیمرهای آلی برای هزارها کاربرد مفیدند، ولی بیشتر آنها در معرض فساد و تخریب هستند و این تخریب در مورد ترکیبهای غیراشباع مانند لاستیک طبیعی بیشتر مشاهده می‌شود. خوشبختانه، لانتکس لاستیک طبیعی دارای ضد اکسندهایی مانند فنولهای پیچیده است که این فساد را به تأخیر می‌اندازند. ولی این محافظت کننده‌های طبیعی در طول فراورش گرمایی از بین می‌روند و باید از پایدارکننده‌های ستیری برای اطمینان از کارکرد رضایت بخش رابطهای لاستیکی و سایر ترکیبهای لاستیکی استفاده شود.

خوشبختانه از حداقل نیم قرن پیش مشخص شد که ضد اکسندهای ستیری مانند N - فنیل - β - نفتیل آمین فساد لاستیکهای وولکانیزه را به تأخیر می‌اندازند و استفاده از این نوع افزودنی در پایدار سازی لاستیک ادامه پیدا کرد.

امروزه می‌دانیم که فساد پلیمرهای آلی براساس واکنشهای رادیکال آزاد است. بنابراین، پایدار سازی این پلیمرها با افزایش ضد اکسندهای قطع کننده زنجیر، که از واکنشهای زنجیری رادیکال آزاد جلوگیری می‌کنند، ممکن می‌شود. آمینهای آروماتیک مانند N و N' دی فنیل پارافنیل دی آمین و فنولهای سماعت شده چون هیدروکسی تولوئن بوتیل دار (BHT)، از مؤثرترین ضد اکسندهای قطع کننده زنجیرند. استرهای تیودی پروپیونات، دی تیوکارباماتهای فلزات واسطه و دی تیو فسفاتها، با از بین بردن هیدروپروکسیدهایی که آغازگرهای اصلی تخریب همراه با اکسایش می‌باشند، به شیوه‌ای کاملاً متفاوت عمل می‌کنند. پی پیریدینهای سماعت شده که به تازگی کشف شده‌اند و طبقه‌ای از پایدار کننده‌های نوری می‌باشند، با مکانیسم کاتالیزوری الکترون پذیر / الکترون ده پلیمر را پایدار می‌کنند.

دکتر جرالد اسکات کمکه‌های قابل توجهی جهت درک مکانیسم عمل این دو طبقه از ضد اکسندها کرده است. وی فرایندی برای فیلم پوششی نور تخریب پذیر کشف کرد که در کشاورزی به طور گسترده