Archive of SID

مقاله

فناوری مورفینگ

پویان قابضی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس

محمد گلزار، استادیار، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس
m.golzar@modares.ac.ir

مهدی انصاری، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

اخیراً موضوع استفاده از فناوری مورفینگ در سازه‌های هوایی به‌منظور افزایش کارایی، بازدهی و مزایای عملیاتی، توجه بسیاری از سازمان‌های تحقیقاتی را به خود جلب کرده است. خواص آیرودینامیکی و مزایای کارکردی و در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف سوخت به‌وسیلهٔ این فناوری قابل دست‌یابی است. به‌طور کلی برای ایجاد خاصیت مورفینگ در سازه‌ها از مواد هوشمند و یا سیستم‌های کنترل هوشمند استفاده می‌شود. مواردی از جمله استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار، پیزوفیلم‌ها، پلیمرهای هوشمند، لوله‌های کامپوزیتی با ماتریس منعطف، همچنین اعمال تغییرات دما از جمله راهکارهای ایجاد خاصیت مورفینگ در سازه‌هاست. یکی از مهم‌ترین روش‌ها در بحث ساختاری سازه‌های مورفینگ، به‌کارگیری ورق‌های موج‌دار کامپوزیتی با ناهمسانگردی بالا می‌باشد. تحقیقات بسیاری در زمینهٔ استفاده از راهکارهای مورفینگ در هواپیماها، سفینه‌های فضایی و کاربردهای رباتیک انجام شده است که به نتایج خوبی نیز انجامیده‌اند. در این مقاله به معرفی فناوری مورفینگ، مزایا و بررسی راهکارهای گوناگون جهت ایجاد خاصیت مورفینگ و کاربردهای آن در صنایع پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: مورفینگ، کامپوزیت‌های موج‌دار، سازه‌های هوایی، پلیمرهای هوشمند، پیزوفیلم

مقدمه

واژهٔ مورفینگ به‌معنای تغییرشکل از حالتی به حالت دیگر بدون گسستگی است. در علوم مهندسی و صنایع، مورفینگ به سازه‌هایی گفته می‌شود که می‌توانند شکل و هندسه خود را با توجه به شرایط تغییر دهند و از این طریق سبب افزایش عملکرد سازه‌ها شوند. امروزه استفاده از این نوع سازه‌ها، که به آنها سازه‌های هوشمند نیز گفته می‌شود، در صنایع، خصوصاً صنایع هوایی، مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. افزایش قدرت مانور هواپیماها و نیز روند روبه توسعهٔ سفینه‌ها

www.SID.ir

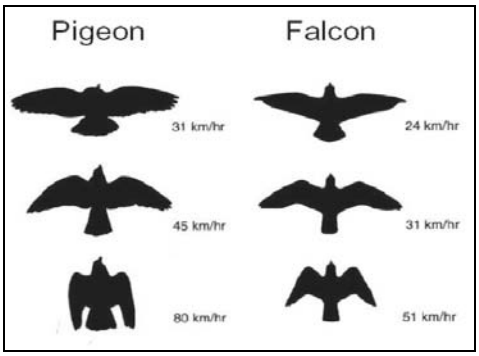
Archive of SID

و ماهواره‌های فضایی از جمله دلایل اصلی افزایش میل به استفاده از این نوع سازه‌ها می‌باشد.

ایدهٔ استفاده از فناوری مورفینگ و سازه‌های موج‌دار، که دارای رفتاری کاملاً متفاوت در جهت‌های مختلف هستند، همچون بسیاری از فناوری‌های دیگر ریشه در طبیعت دارد. در طبیعت می‌توان نمونه‌های بسیاری از این نوع سازه‌ها را مشاهده کرد. بال پرندگان و حشرات نمونه‌های بارزی از به‌کارگیری این فناوری در طبیعت هستند. در شکل ۱ استفاده از این سازوکار در بال پرندگان و حشرات و مقایسه آن با یک ورق موج‌دار کامپوزیتی نمایش داده شده است.

شکل ۱. ساختار موج‌دار بال پرندگان و حشرات [۱]

از جمله ویژگی‌های قابل تأمل پرندگان توانایی آنها در انطباق هندسهٔ بال‌هایشان با شرایط مختلف پرواز است. این قابلیت سبب افزایش عملکرد پرندگان می‌شود و به آنها این توانایی را می‌دهد که به آسانی بتوانند مراحلی چون اوج‌گرفتن، تغییر جهت پرواز و تغییر سرعت را به بهترین شکل ممکن کنترل کنند. یک سازهٔ مورفینگ باید شکل و هندسهٔ خود را به‌گونه‌ای تغییر دهد که بتواند در برابر نیروهای اعمالی بهترین عملکرد را داشته باشد. بال‌هایی با ابعاد ثابت، برای حالت‌های گوناگون پرواز شرایط بهینه‌ای ندارند؛ از این‌رو پرندگان در حین پرواز، با عقب راندن بال‌های خود می‌توانند با کاهش نیروی مقاوم در برابر پرواز، سرعت خود را افزایش دهند. شکل ۲ چگونگی تغییرات هندسهٔ بال پرندگان و تغییر سرعت آنها را نمایش می‌دهدمی‌باشد [۲].



شکل ۲. چگونگی تغییر بال پرندگان در شرایط گوناگون پرواز [۲]

برخی از هواپیماهای جنگنده همچون هواپیمای اف ۱٤ تام‌کت[1] نیز تا حدی از سازوکار مورفینگ بهره می‌گیرد [۳].

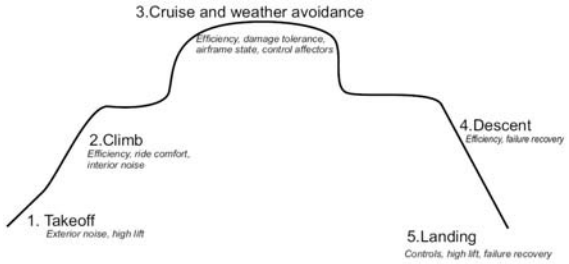
شکل ۳. هواپیمای اف ۱۴ تام‌کت

در حالت ایده‌آل طراحی بال باید به‌گونه‌ای باشد که قابلیت تغییر در شرایط گوناگون پرواز را داشته باشد.

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

شکل ٤ حالت‌های گوناگون پرواز را برای یک هواپیما نمایش می‌دهد [۲]. برای انجام یک پرواز خوب و ایده‌آل لازم است بال هواپیما در هر یک از شرایط پرواز هندسهٔ متفاوتی داشته باشد.



شکل ۴. حالت های گوناگون پرواز [۲]

برای ایجاد خاصیت مورفینگ می‌توان از نوعی عملگر پیزوالکتریک استفاده کرد. از این عملگرها، که از الیاف پیزوالکتریک ساخته شده‌اند، به‌منظور تغییر حالت سریع ورق‌های کامپوزیتی غیرمتقارن استفاده می‌شود. در نوع دیگری از عملگرها برای ایجاد خاصیت مورفینگ از اعمال تغییرات دما استفاده می‌شود. در این حالت، ورق‌های کامپوزیتی قادرند بعد از فرایند پخت با توجه به نوع لایه‌چینی، دچار تغییرشکل‌های گوناگونی شوند. این سازه‌ها با اعمال بار خارجی می‌توانند هندسهٔخود را تغییر داده، هنگامی که نیرو به مقداری بحرانی برسد، با توجه به میدان تنش پسماند موجود در ورق و هندسهٔ اولیه، از طریق سازوکار کمانش و به‌صورت ناگهانی به شکل پایدار دیگری تغییر حالت دهد.

تاریخچهٔ سازه‌های مورفینگ

ایدهٔ ساخت بال‌های قابل تغییر برای نخستین بار در سال ۱۹۲۰ م مطرح شد. یکی از معروف‌ترین طرح‌های بال هواپیما با قابلیت تغییرشکل‌پذیری، در سال ۱۹٤٤ م، توسط مِسِرشمیت[۲] معرفی شد که تا به امروز نیز از مهم‌ترین طرح‌هاست [۲]. استفاده از این‌گونه طرح‌ها همواره با چالش‌هایی همراه بوده است. با این‌وجود با توجه به کارایی بالای این‌گونه بال‌ها، هواپیماهایی چون میگ ۲۳، اف ١٤ تام‌کت و راکوِل بی. وان. بی[۳] از این فناوری بهره گرفته‌اند [۵]. شکل ۵ نمایی از هواپیمای راکوِل بی. وان. بی را نمایش می‌دهد که امروزه هنوز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شکل ۵. هواپیمای راکوِل بی. وان. بی با بال‌هایی با قابلیت جابه‌جایی

ناسا[٤] روی بال‌های یکپارچه تحقیقات گسترده‌ای انجام داده است. قسمت‌های گوناگون این بال‌ها، برخلاف بال‌های معمولی، مانند بال پرندگان به‌صورت یکپارچه است. در این‌گونه بال‌ها از سازوکارهایی استفاده می‌شود که بتوانند قابلیت انعطاف را به پوستهٔ خارجی بدهند که باعث می‌شود مقاومت در برابر پرواز بین ۷ تا ۲۰ درصد کاهش یابد و امکان دست‌یابی به سرعت‌های فراصوت به‌صورت راحت‌تری امکان‌پذیر باشد [٤].

شولتس[۵]، سازوکار تغییرات دما در ورق‌های کامپوزیتی را بررسی کرده است. او در حین مطالعات خود دریافت که اگر لایه‌چینی ورق‌های کامپوزیتی به‌صورت

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

غیرمتقارن باشد، به‌واسطهٔ تنش‌های حرارتی که در فرایند پخت ایجاد می‌شود، شکل اولیهٔ ورق تغییر می‌کند. تغییر ایجادشده به ابعاد ورق، ضخامت لایه‌ها و زاویهٔ الیاف بستگی دارد [٦]. وی با استفاده از چسباندن تکه‌های پیزوالکتریک به سطح پوسته‌های کامپوزیتی توانست از طریق نیروی برشی ایجاد شده، در آنها تغییرشکل ناگهانی به‌وجود آورد [٦ و ٧]. دانو[٦] با استفاده از سیم‌های حافظه‌دار توانست در ورق ممان خمشی ایجاد کند که باعث ایجاد تغییرشکل در ورق می‌شد [٨]. هوفنباخ[٧] الگوریتم‌های بهینه را توسعه داد و از سیم‌های آلیاژ حافظه‌دار در ورق‌های دوپایا استفاده کرد [٩ و ١٠]. شولتس و دانو به بررسی نیمه‌تحلیلی شکل‌های پایدار ورق و نیز نیروی لازم برای تغییر حالت ناگهانی ورق علاقه‌مند بودند. بخش‌هایی از کار آنها در زمینهٔ پیش‌بینی شکل ورق‌ها در دمای اتاق بعد از فرایند پخت متمرکز بود [١١ و ١٢]. از روش حل نیمه‌تحلیلی رایلی - ریتز[٨] و نیز آنالیز اجزاء محدود غیرخطی به‌منظور پیش‌بینی شکل ورق‌ها، بعد از فرایند پخت استفاده شده است که نتایج موفقیت‌آمیزی را به همراه داشته است [١٣ و ١٤]. هایر[٩] با استفاده از روش رایلی – ریتز شکل حاصل از ورق‌های کامپوزیتی غیرمتقارن گرافیت - اپوکسی را پیش‌بینی کرد [١٥]. او در این روش با اضافه‌کردن جملات غیرخطی به روابط کرنش - جابه‌جایی به این نتایج دست یافت. شکل‌های به‌دست آمده شامل دو شکل پایدار استوانه‌ای و یک شکل ناپایدار زین‌اسبی بود. هایر و هاماموتو[١٠] در ادامه به بررسی تأثیرات ناشی از افزایش و کاهش دما روی شکل ورق‌های غیرمتقارن کامپوزیتی پرداختند که با نتایج تئوری سازگاری خوبی داشت [١٦]. دانو و هایر فرمول‌های روش رایلی – ریتز را توسعه دادند و انواع لایه‌چینی را نیز بررسی کردند و در نهایت به مقایسهٔ نتایج تجربی و تئوری پرداختند [١٧]. کرولی[١١] و همکارانش حل دقیقی از رفتار تیرهای تحریک‌شده به‌وسیلهٔ تکه‌های پیزوالکتریک از جنس آلومینیوم، گرافیت - اپوکسی و شیشه - اپوکسی ارائه کردند [١٨ و ١٩]. لی[١٢]، وانگ[١٣] و راجرز[١٤] تئوری کلاسیک لایه‌ها را با در نظر گرفتن پیزوالکتریک‌ها توسعه دادند [٢٠ و ٢١]. هِیلیگر[١٥] و ساراوانوس[١٦] مدل المان محدود پیزوالکتریک‌ها را ارائه کردند [٢٢ و ٢٣]. یوکوزکی[١٧] نیز از نخستین کسانی بود که استفاده از ورق‌های موج‌دار کامپوزیتی از جنس کربن - اپوکسی را برای استعمال پوستهٔ مورفینگی پیشنهاد کرد [٢٤].

مواد هوشمند و عملگرها

مواد هوشمند اصطلاحاً به موادی گفته می‌شود که قادرند موقعیت‌های گوناگون را به خاطر بسپارند و با عوامل محرکی چون تنش‌های مکانیکی، حرارت، الکتریسیته و یا مغناطیس به موقعیت پیشین خود بازگردند. مثلاً عینک‌های فتوکرومیک که تحت اشعهٔ ماوراء بنفش تغییر رنگ می‌دهند و یا مواد پیزوالکتریک که انرژی را از نوعی به نوع دیگر تبدیل می‌کنند نمونه‌هایی از این دسته موادند. در ادامه دسته‌ای از مواد هوشمند، که در سازه‌های مورفینگ به‌عنوان عملگر استفاده می‌شوند، را به اجمال معرفی می‌کنیم.

آلیاژهای حافظه‌دار

آلیاژهای حافظه‌دار برخلاف آلیاژهای معمول، در بارگذاری‌های بیش از حد الاستیک رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند. در دمای پایین، یک نمونه آلیاژ حافظه‌دار می‌تواند تغییرشکل پلاستیک چند درصدی را تحمل کند و سپس در دمای خاصی به‌صورت کامل به

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

شکل اولیه خود بازگردد. در فرایند بازگشت، آلیاژ قادر است نیرویی قابل توجه تولید کند که از این نیرو می‌توان به‌عنوان نیروی محرک در عملگرها استفاده کرد. آلیاژ حافظه‌دار NiTi مهم‌ترین نوع آلیاژ حافظه‌دار شناخته‌شده است. خواص منحصر به‌فردی همچون حافظه‌داری و فوق کشسان بودن سبب استفاده گسترده از این آلیاژ در کاربردهای گوناگون شده است.

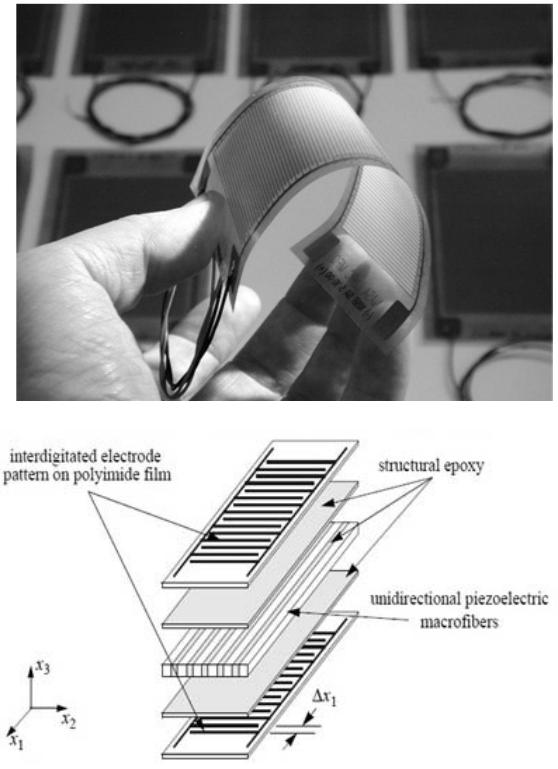
پیزوفیلم‌ها

اصطلاح پیزوالکتریک به دسته‌ای از مواد اطلاق می‌شود که اعمال فشار به آنها سبب تولید اختلاف پتانسیل در این مواد می‌گردد [۲۵]. مواد پیزوالکتریک[۱۸] همچنین این قابلیت را دارند که هنگام قرارگرفتن در معرض میدان الکتریکی شکل خود را تغییر دهند و می‌توان از آنها پاسخ مکانیکی دریافت کرد که بیانگر روشی جهت به‌کارگیری در سازه‌های مورفینگ به‌عنوان عملگر است. کوارتز از مهم‌ترین مواد پیزوالکتریک است.

ترکیبات سرب – زیرکنات – تیتانات یکی از متداول‌ترین انواع پیزوالکتریک‌های مصنوعی‌اند. شکل ٦ نمونه‌ای از یک پیزوفیلم و اجزای آن را نمایش می‌دهد.

پلیمرهای هوشمند

اثر حافظه‌داری جزء خواص ذاتی پلیمرها برشمرده نمی‌شود، بلکه مجموعه‌ای از ساختار و مورفولوژی پلیمر به‌همراه فرایندهای خاصی سبب ایجاد این اثر می‌گردد. در پلیمرهای حافظه‌دار ابتدا از طریق فرایندهای مرسوم شکل دائمی در پلیمر ایجاد می‌شود و سپس در مرحله دیگر، که به آن مرحله بازیابی گفته می‌شود، نمونهٔ پلیمری تحت تغییرشکل قرار می‌گیرد و شکل موقت خود را به‌دست می‌آورد. با به‌کارگیری یک محرک خارجی مثل نور، حرارت، میدان الکتریکی و یا مغناطیسی، پلیمر به شکل اصلی خود باز می‌گردد. در شکل ۷ مراحل عملکرد پلیمر حافظه‌دار، که شکل دائمی آن به‌صورت میله می‌باشد، نمایش داده شده است [۲۸].



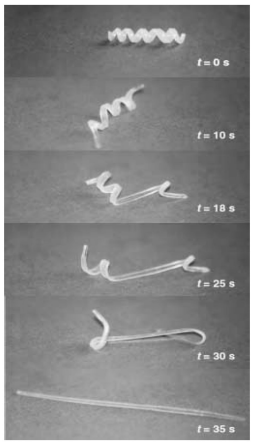
شکل ۶. نمونه‌ای از عملگر پیزوفیلم و اجزای آن

کامپوزیت‌هایی با ماتریس منعطف[۱۹]

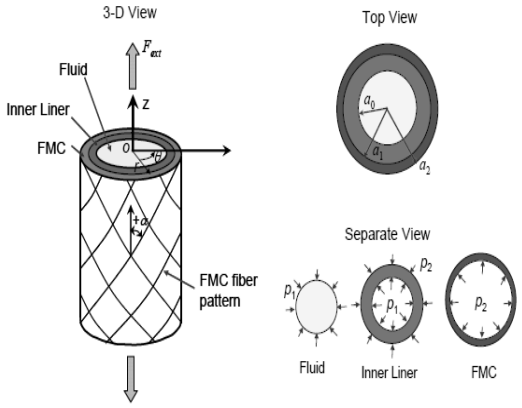
عملگرهای لوله‌ای FMC از جمله سازوکارهای مورد استفاده در سازه‌های مورفینگ است. این مواد از لایه‌های کامپوزیتی با جهت‌گیری‌های خاصی ساخته شده است. الیافی مانند کربن در یک ماتریس نرم قرار گرفته‌اند که در نتیجه می‌توانند به لوله قابلیت انعطاف بدهند. شکل ۸ ساختار لوله های FMC را نمایش می‌دهد.

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

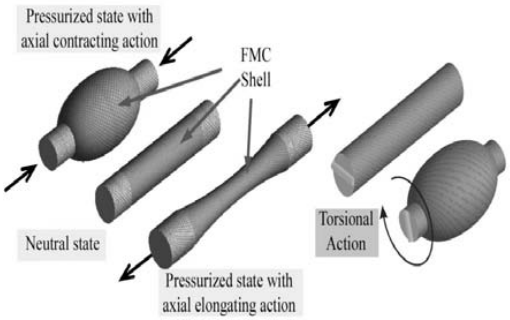


شکل ۷. بازیابی پلیمر حافظه‌دار
از دمای ۴۶ تا ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد [۲۸]



شکل ۸. ساختار لوله‌های FMC

با تنظیم زوایای الیاف تشکیل‌دهنده پوسته لوله می‌توان سفتی لوله را تغییر داد [۲۹]. همچنین با کنترل جریان و فشار در لوله می‌توان میزان نیرو و جابه‌جایی، و درنتیجه میزان سفتی را کنترل کرد. سیال‌های مورد استفاده، سیال‌هایی چون آب و روغن هستند که مدول حجمی زیادی دارند. با ورود سیال به داخل لوله فشار افزایش می‌یابد و ابعاد لوله تغییر می‌کند که سبب اعمال نیرو می‌شود. در نتیجه از این لوله‌ها می‌توان به‌عنوان عملگر استفاده کرد. شکل ۹ چگونگی تغییرشکل و ایجاد نیرو و یا گشتاور را در نتیجه ورود سیال به لوله‌های FMC نشان می‌دهد [۲۹].

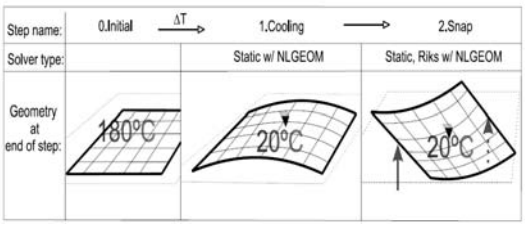


شکل ۹. تغییرشکل و ایجاد نیرو و یا گشتاور در لوله‌های FMC

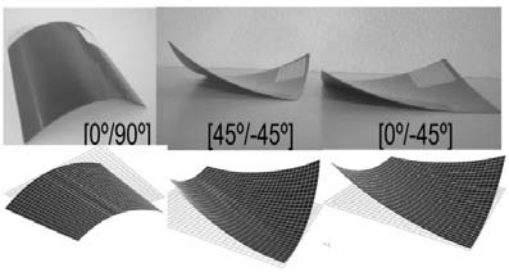
پوسته‌های مورفینگ

سازه‌های مورفینگ و تغییرات دما

در ورق‌های کامپوزیتی غیرمتقارن با اعمال تغییرات دما ورق دچار تغییرشکل می‌شود. عواملی نظیر ابعاد ورق، لایه‌چینی، جنس ورق، میزان تغییرات دما و ضخامت ورق در تغییرشکل آن مؤثرند. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ تأثیر تغییرات دما بر انحنای ورق‌های کامپوزیتی را نمایش می‌دهند [۲۸].



شکل ۱۰. تأثیر تغییر دما بر انحنای ورق کامپوزیتی پس از فرایند پخت [۳۰]



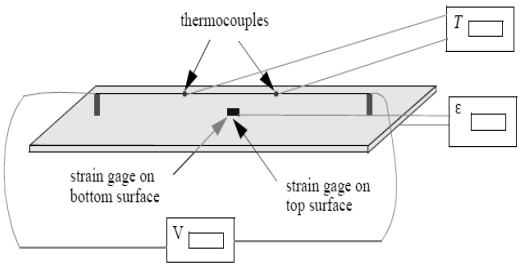
شکل ۱۱. تأثیر لایه‌چینی بر انحنای ورق‌های کامپوزیتی [۳۰]

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

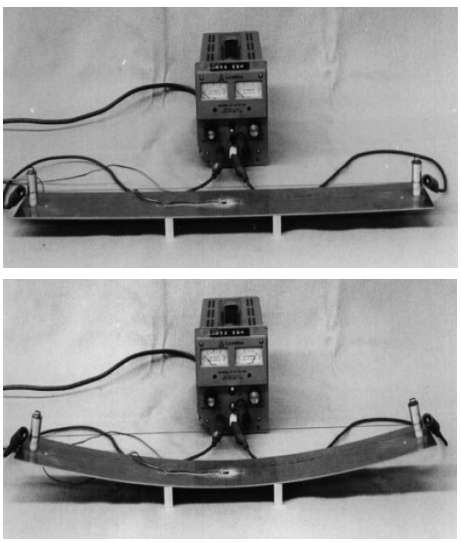
سازه‌های مورفینگ و آلیاژهای حافظه‌دار

با استفاده از سیم‌های آلیاژ حافظه‌دار و در نتیجه اعمار گشتاور خمشی می‌توان در ورق‌ها گشتاور خمشی ایجاد کرد و منحنی ورق را تغییر داد. شکل ۱۲ نحوهٔ استفاده از سیم‌های حافظه‌دار را برای تغییر شکل ورق‌ها نشان می‌دهد [۳۱].



شکل ۱۲. طرح شماتیک استفاده از سیم حافظه‌دار و تجهیزات مورد نیاز

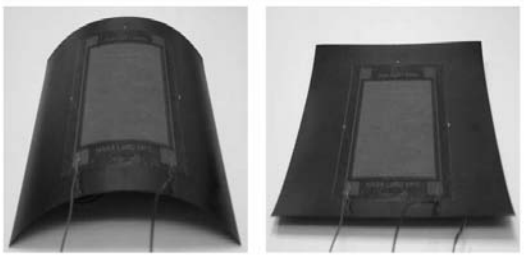
هنگامی‌که سیم تحریک می‌شود، به‌وسیلهٔ ممان‌هایی که در نتیجهٔ فاصلهٔ عمودی سیم‌ها با سطح ورق ایجاد می‌شود، ورق خمیده می‌شود. در شکل ۱۲ یک نمونه ورق گرافیت – اپوکسی نشان داده شده است که با تحریک سیم حافظه‌دار دچار خمش می‌شود [۳۱].



شکل ۱۳. ورق‌های گرافیت – اپوکسی در حالت تحریک‌شده با سیم‌های حافظه‌دار و بدون تحریک [۳۱]

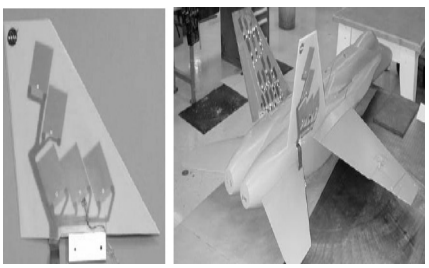
سازه‌های مورفینگ و عملگرهای پیزوفیلم

از عملگرهای پیزوفیلم به‌منظور تحریک و تغییر منحنی ورق‌های کامپوزیتی استفاده می‌شود. نمونه‌ای از استفاده این عملگرها در شکل ۱٤ نمایش داده شده است. با استفاده از پیزوفیلم و چسباندن آن به یک ورق تخت، تغییرشکل پیزو سبب ایجاد تغییر شکل در ورق می‌شود [۳۰].



شکل ۱۴. تغییرشکل حاصل از تحریک پیزوفیلم [۳۲]

شکل ۱۵ نیز نمونه‌ای از کاربردهای پیزوفیلم‌ها را در بال هواپیما نمایش می‌دهد [۳۲].



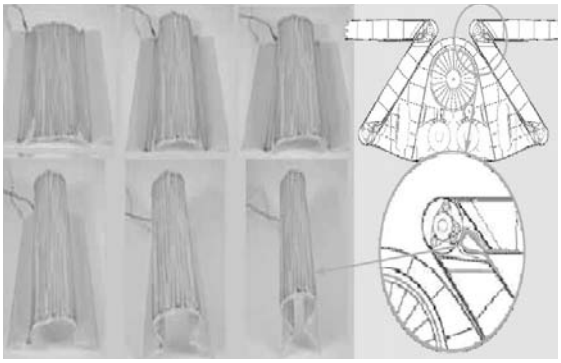
شکل ۱۵. استفاده از پیزوفیلم‌ها در بال‌های پشتی هواپیما [۳۳]

سازه‌های مورفینگ و پلیمرهای هوشمند

شکل ۱٦ یک نمونه عملگر پلیمری هوشمند را نشان می‌دهد که پس از تحریک آن سبب بازشدن بال هواپیما می‌شود. همان‌طور که در شکل مشخص است، عملگر پلیمری در قسمت لولایی بال قرار دارد و پس از تحریک با اعمال نیرو سبب بازشدن لولا و در نتیجه تحریک بال می‌گردد [۳٤].

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

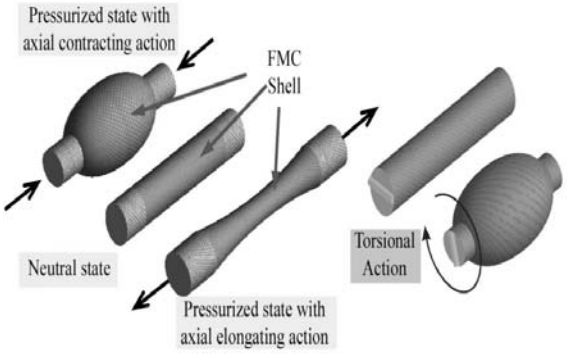
Archive of SID



شکل ۱۶. بازشدن بال
به‌وسیلهٔ تحریک پلیمر هوشمند [۳۴]

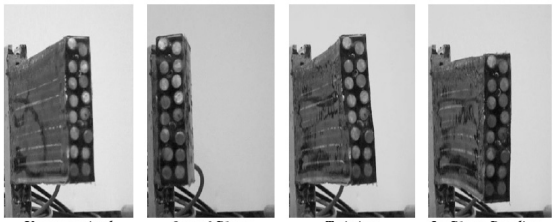
سازه‌های مورفینگ و عملگرهای F^2MC

با تزریق سیال به عملگرهای F^2MC، فشار در این عملگرها بالا می‌رود و سبب تورم لوله F^2MC می‌شود. در نتیجهٔ تورم، لوله حاوی سیال حرکت خطی یا دورانی و یا ترکیبی از این دو را انجام می‌دهد. در شکل ۱۷ سه نمونه از عملگرهای F^2MC با میزان جابه‌جایی متفاوت نمایش داده شده است.

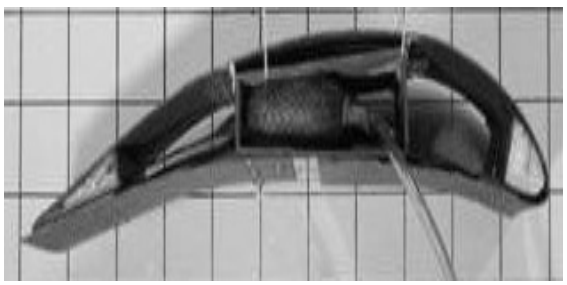


شکل ۱۷. نمونه‌ای از عملگرهای F^2MC
با میزان جابه‌جایی‌های متفاوت [۳۴]

استفاده از عملگرهای F^2MC در بال هواپیما سبب افزایش کارایی آیرودینامیکی می‌شود. در این سازوکار مجموعه‌ای از لوله‌های انعطاف‌پذیر سیال به‌صورت پیوسته درون ماتریسی قرار داده می‌شود. این عملگرها در رباتیک نیز استفاده می‌شوند. مثلاً در ساخت دُم ماهی می‌توان از این عملگرها استفاده کرد. شکل ۱۸ طرز کار این‌گونه عملگرها را نشان می‌دهد. همچنین شکل ۱۹ نمونه‌ای از عملگر F^2MC در داخل بال هواپیما را نشان می‌دهد.



شکل ۱۸. حالت‌های گوناگون سازه
در نتیجهٔ تحریک F^2MC [۳۴]



شکل ۱۹. کاربرد F^2MC به‌عنوان
عملگر بال هواپیما [۳۴]

ورق‌های کامپوزیتی موج‌دار[۲۰]

پوستهٔ مورفینگ برای کاربرد در بال هواپیما نیاز به ترکیب حداقل دو خاصیت گوناگون دارد: نخست اینکه قابلیت تغییرشکل در جهت عرضی بال و افزایش سطح بال داشته باشد؛ دیگر اینکه صلبیت بالایی در جهت طولی بال برای تحمل بارهای آیرودینامیکی و لختی داشته باشد.

این تفاوت بزرگ در خواص مواد (مثلاً سفتی) در جهات گوناگون، ناهمسانگردی زیاد نامیده می‌شود. این‌چنین پدیده‌های نامطلوب، در سازه‌های مورفینگ فوق‌العاده مفید است. با این‌حال از معایب آن انتقال

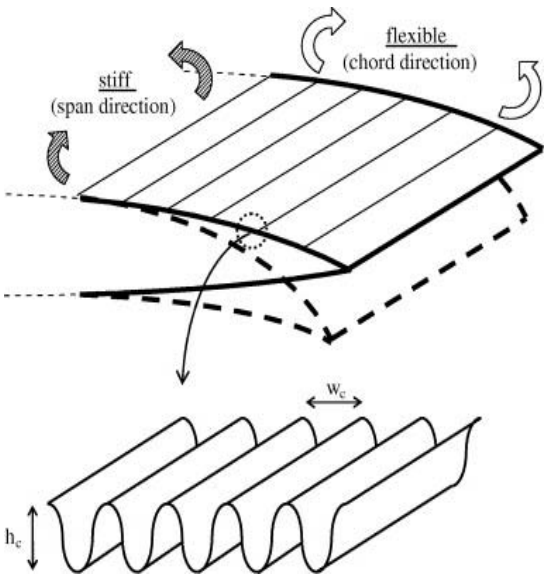
Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir

www.SID.ir

Archive of SID

کرنش‌های صفحه‌ای به پوسته خودش است که سبب افزایش نیروهای محرک، شده و به طور بالقوه منجر به خستگی می‌شود [۳۵]. با توجه به عملکرد ورق‌های کامپوزیتی موج‌دار (نسبت جرم به سفتی کم و مقاومت به کمانش در جهت عرضی موج و خاصیت جذب انرژی) می‌تواند یک راه‌حل بالقوه جهت به‌کارگیری به‌عنوان پوسته یک سازه مورفینک باشد. از این‌رو بیش از ده‌ها سال است که در پروژه‌های کاربردی عمران، دریانوردی، خودروسازی و هوافضا مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۶ و ۳۷].

شکل ۲۰ نمونه‌ای از کاربرد پوسته‌های موج‌دار در بال هواپیما را نمایش می‌دهد.



شکل ۲۰. کاربرد ورق موج‌دار سینوسی در بال هواپیما [۲۴]

نتیجه‌گیری

امروزه استفاده از پوسته‌های مورفینگ یکی از بحث‌های جدی در صنایع است. انتخاب هریک از سازوکارهای معرفی شده در این مقاله بسته به شرایط موجود و نیاز طراحان متفاوت بوده، باید پارامترهایی چون سرعت عمل، مقدار نیروی اعمالی، دقت، مقدار پسماند و تعداد سیکل کارکردی (عمر کاری) عملگرها را در نظر گرفت. به‌طور کلی آلیاژهای حافظه‌دار، FMC و سازوکار تغییر دما به‌ترتیب نیروی بالاتری را نسبت به سایر عملگرها اعمال می‌کنند. بنابراین از آنها در مواردی استفاده می‌شود که به نیروی زیادی نیاز باشد. البته میزان نیروی عملکردی آلیاژ حافظه‌دار به پارامترهایی نظیر قطر آلیاژ، دما و پیش کشش اولیه بستگی دارد. عملگرهای FMC و MFC میزان سرعت عمل بالایی دارند و از آنها در کاربردهایی استفاده می‌شود که سرعت عمل مهم می‌باشد. مثلاً در هواپیماهایی که به قدرت مانور زیاد نیاز دارند، لازم است که سرعت عملگر زیاد باشد. کمترین سرعت عملکرد مربوط به پلیمرهای هوشمند می‌باشد. از نظر دقت عملکرد، عملگر MFC بیشترین دقت را در میان عملگرها داراست و می‌توان به تناسب ولتاژی که به آن داده می‌شود پاسخ مناسب دریافت کرد. این در صورتی است که میزان عملکرد آلیاژ حافظه‌دار علاوه بر فاکتور دما (اختلاف پتانسیل دو سر سیم) به زمان نیز وابسته می‌باشد و حتی در صورت ثابت نگه‌داشتن دما استحاله مارتنزیت به آستنیت تبدیل می‌شود و آلیاژ تحریک می‌شود. در صورتی که به آلیاژ حافظه‌دار مقدار کرنش زیادی وارد شود (بیش از ۸ درصد) مقداری کرنش پسماند در آن باقی می‌ماند و از عملکرد آن می‌کاهد. همچنین با افزایش سیکل کاری، حداکثر کرنش قابل اعمال به آلیاژ حافظه‌دار کاهش می‌یابد. یکی دیگر از فاکتورهای مهم در کاربردهای هوایی، سبک‌بودن وزن آنهاست. عملگرهای FFMC و SMP به نسبت سایر عملگرها وزن بیشتری دارند.

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

[1] P. Ghabezi, M .Golzar, Corrugated Composites as Flexible Structures Theory and FEM Analysis, 32nd Risø International Symposium on Materials Science - Composite materials for structural performance: towards higher limits, 5-9 September 2011, Denmark.

[2] Pedro Miguel, "Analysis of morphing, multi-stable structures actuated by piezoelectric patches", Licenciado em Engenharia Mechanica pela Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, Julho de 2005.

[3] http://wallpapersdiq.net/de_24__Fighter_F-14_Tomcat.html

[4] Jha, A. K. and Kudva, J. N., \Morphing Aircraft Concepts, Classi cations, and Challenges," Industrial and Commercial Applications of Smart Struc- tures Technologies, 2004.

[5] http://www.flightglobal.com

[6] Schultz, M. R., Use of piezoelectric actuators to effect snap-through behavior of unsymmetric composite laminates, Ph.D. thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 2003.

[7] Schultz, M. R., "A Morphing Concept Based on Unsymmetric Composite Laminates and Piezoceramic MFC Actuators," 2004.

[8] Marie-Laure Dano, M. W. H. "SMA-Induced Snap-Through of Unsymmet- ric .Ber-Reinforced Composite Laminates," International Journal of Solids and Structures, Vol. 40, 2003, pp. 5949-5972.

[9] W. Hufenbach, M. Gude, L. K., "Design of Multistable Composites for Ap- plication in Adaptive Structures," Composites Science and Technology, 2002, pp. 2201-2207.

[10] Hufenbach, W. and Gude, M., "Analysis and Optimisation of Multistable Composites under Residual Stresses," Composite Structures, Vol. 55, 2002, pp. 319-327.

[11] Dano, M.-L. And Hyer, M. W. "Thermally-induced deformation behavior of unsymmetric laminates," international Journal of Solids Structures, Vol. 35, 1998, pp. 2101-2120.

[12] M. Schlecht, K. Schulte, M. W. H. "Advanced Calculation of the Room-Temperature Shapes of Thin Unsymmetric Composite Laminates," Composite Structures, Vol. 32, 1995, pp. 627-633.

[13] Kevin Potter, Marco Gigliotti, M. R. W. "Development of Curvature during the Cure of [0/90] Unsymmetric Composite Plates,'' Composites Science and Technology, Vol. 63, 2003, pp. 187–197.

[14] Kevin Potter, Marco Gigliotti, M. R. W. "Loss of Bifurcation and Multiple Shapes of Thin [0/90] Unsymmetric Composite Plates Subject to Thermal Stress,'' Composites Science and Technology, Vol. 64, 2004, pp. 109-128.

[15] Hyer, M. W. "The Room-Temperature Shapes of Four-Layer Unsymmetric Cross- Ply Laminates," Journal of Composite Materials, Vol. 16, Jul. 1982, pp. 319–340

[16] Hamamoto, A. and Hyer, M. W. "Non-Linear Temperature-Curvature Relationships for Unsymmetric Graphite-Epoxy Laminates," International Journal of Solids and Structures,Vol. 23, No. 7, 1987, pp. 919-935.

[17] Dano, M.-L. And Hyer, M. W. "Thermally-Induced Deformation Behavior of Unsymmetric Laminates," International Journal of Solids and Structures, Vol. 35, No. 17, 1998, pp. 2101–2120.

[18] Crawley, E. F. and de Luis, J. "Use of Piezoelectric Actuators as Elements of Intelligent Structures," AIAA Journal, Vol. 25, 1987, pp. 1373–1385.

[19] Crawley, E. F., and Anderson, E. H. "Detailed Models of Piezoceramic Actuation of Beams," Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 1, 1990, pp. 4–25.

[20] Lee, C. K. "Theory of Laminated Piezoelectric Plates for the Design of Distributed Sensors/ Actuators. Part I: Governing Equations and Reciprical Relationships," Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 87, 1990, pp. 1144–1158.

[21] Wang, B. T. and Rogers, C. A. "Laminate Plate Theory for Spatially Distributed. Induced Strain Actuators," Journal of Composite Materials, Vol. 25, pp. 433–452.

www.SID.ir

Archive of SID

[22] Saravanos, D. A. and Heyliger, P. R. “Coupled Electromechanical Response of Composite Beams with Embedded Piezoelectric Sensors and Actuators,” International Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 6, 1995, pp. 350–363.
[23] Heyliger, P. R., Ramirez, G., and Saravanos, D. “Coupled Discrete-Layer Finite Element Models for Laminated Piezoelectric Plates,” Communications in Numerical Methods in Engineering, Vol. 10, 1994, pp. 971-981.
[24] Yokozeki, T., Takeda, S., Ogasawara, T. and Ishikawa, T., Mechanical properties of corrugated composites for candidate materials of flexible wing structures, Compos Part A: Appl Sci Manuf 37 (10) (2006), pp. 1578–1586.
[25] Inman, D. J. and Cudney, H. H., “Structural and Machine Design Using Piezoceramic Materials: A Guide for Structural Design Engineers,” Final Report to NASA Langley Research Center, NASA Langley Grant NAG-1-1998, April 30, 2000.
[26] High, J., Wilkie, W., "Method of Fabricating NASA-Standard Macro-Fiber Piezocomposite Actuators," NASA/TM-2003-212427, ARL TR 2833, June 2003.
[27] Wilkie, W. K., Bryant, R. G., High, J.W., Fox, R. L., Hellbaum, R. F., Jalink, A., Jr., Little, B. D., and Mirick, P. H. “Low-Cost Piezocomposite Actuator for Structural Control Applications,” SPIE’s 7th Annual International Symposium on Smart Structures and Materials, Newport Beach, CA, March 5-9, 2000.
[28] H. U. Jinlian, “Shape Memory Polymer and Textils”, Woodhead, Pubiishing Limited and CRC Press LLC (2007).
[29] K. W. Wang, “fluidic flexible matrix composites for autonomous structural tailoring,” Journal of Composite Materials, 2009, FA9550-07-1-0001.
[30] Pedro Miguel dos Santos Carvalho Portela, “Analysis of morphing, multi-stable structures actuated by piezoelectric patches’’, pela Universidade do Porto, 2005.
[31] M. Dano, “SMA-Induced Deformations in General Unsymmetric Laminates’’, Virginia university, Master of Science thesis, 2005.
[32] Marc robert schultz, “use of piezoelectric actuators to effect snap-through behavior of unsymmetric composite laminates’’, Virginia university, doctor of philosophy, 2003.
[33] Henry A. Sodano, “Macro-Fiber Composites for Sensing, Actuation and Power Generation”, Virginia university, doctor of philosophy, 2003.
[34] Tyler lee hinshaw, “analysis and design of a morphing wing tip using multicellular flexible matrix composite adaptive skins”, Virginia university, master of science, 2003.
[35] Perkins, D.A., J.L. Reed Jr., and E. Havens. Morphing wing structures for loitering air vehicles, 2004. Palm Springs, CA, USA: American Inst. Aeronautics and Astronautics Inc., Reston, VA 20191-4344, United States.
[36] D. Perel and C. Libove, Elastic buckling of infinitely long trapezoidally corrugated plates in shear, J Appl Mech 45 (3) (1978), pp. 579-582.
[37] F. R. Shanley, Cardboard-box wing structures, J Aeronaut Sci 14 (12) (1947), pp. 713-715.

پی‌نوشت

1. Grumman's F14-Tomcat
2. Messerschmidt
3. Rockwell B-1B Lancer
4. NASA
5. Schutlz
6. Dano
7. Hufenbach
8. Rayleigh-Ritz
9. Hyer
10. Hamamoto
11. Crawley
12. Lee
13. Wang
14. Rogers
15. Heyliger
16. Saravanos
17. Yokozeki
18. MFC
19. Fluidic Flexible Matrix Composite (F2MC or FMC)
20. Corrugated composite

www.SID.ir