

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

www.Iran-mavad.com



Methods of manufacturing composite radomes (Polymer-Fibers)

Presenter: Hamid Reza Akramifard¹

Hamid Reza Akramifard¹, Saeed Bayatali²

1- School of Metallurgy and Materials Engineering, College of Engineering, University of Tehran

2- Bagherilolum Researches Organization

Correspond author's email: (akrami.1367@ut.ac.ir)

Abstract

In this study, different manufacturing methods of composite radomes (protective of receiving missile waves system) have been investigated. At the first method, PTFE-Fibers composite discs are molding so after finishing of making radome, they being randomly oriented in plane parallel to the inner surface of radome. After machining of disc, they will be stacked in a mold with abutting surfaces at adjacent discs arranged generally perpendicular to the wall of the mold (similar to inner surface of radome) at the joints. The discs are then subjected to are axial pressure and are sintered in a heating cycle wherein the polymer is taken through the crystalline melt point, heat soaked above the melt point to effect diffusion across the joints and thus to effect thermal bonding across the boundaries of the adjacent discs, slowly cooled to and through the recrystallization point and then cooled back to room temperature. The bonded structure is then removed from the mold and the inner and outer surfaces are machined to the desired final contour of radome. At second method, the radome is produced by packing a layer of fiber filled powder around the mandrel having its outer contour resemble the inner contour of radome. The mandrel and packed powder are then subjected to isostatic pressing to properly orient the fibers. The radome is finished by sintering the powder and removing the finished form from the mandrel and cooling to room temperature and machining the surfaces.

Keywords: Radome, Mechanical properties, Ceramic materials, Composite, Strength, Loss tangent

¹ Master student – Metal forming

² Expert of Structural organization

روش‌های ساخت ریدوم‌های کامپوزیتی (پلیمر - الیاف)

ارائه دهنده مقاله: حمید رضا اکرمی فرد^۳

حمید رضا اکرمی فرد^۱، سعید بیاتعلی^۴

۱- دانشکده مهندسی مواد - دانشگاه تهران

۲- سازمان تحقیقات باقرالعلوم

ایمیل مسؤل مقاله: akrami.1367@ut.ac.ir

چکیده

در این تحقیق به بررسی روش‌های ساخت انواع ریدوم‌های کامپوزیتی (محافظ سیستم دریافت‌کننده امواج موشک) پرداخته شده است. در روش اول دیسک‌هایی از جنس کامپوزیت الیاف-PTFE (پلی تترافلورواتلین) قالب‌گیری می‌شوند که پس از ساخت ریدوم در جهت عمود بر محور ریدوم جهت‌گیری خواهند داشت. پس از ماشین‌کاری دیسک‌ها، بدون اینکه سطوحشان با یکدیگر در تماس باشد، در جهت عمود بر دیواره قالب (شبیه به سطح خارجی ریدوم) روی هم چیده می‌شوند. بعد از اعمال فشار محوری طی یک سیکل عملیات حرارتی سینتر می‌شوند و پلیمر از نقطه ذوب کریستالی خود عبور می‌کند و این حرارت باعث می‌شود عمل نفوذ مابین دیسک‌ها اتفاق افتاده و پیوند حرارتی رخ دهد. به دنبال آن عمل سرد کردن به آرامی تا نقطه تبلور مجدد و دمای اتاق ادامه پیدا می‌کند. ساختار اتصال‌یافته از قالب بیرون آورده شده و مطابق با شکل ریدوم مورد نظر ماشین‌کاری می‌شود. در روش دوم، از یک مخلوط فشرده و یکنواخت از پودرهای PTFE و الیاف تقویت‌کننده در اطراف ماندلر کمک گرفته می‌شود. ماندلر دارای سطحی مشابه سطح داخلی ریدوم است. ماندلر به همراه مخلوط پودری متراکم شده که در اطراف آن قرار دارد، تحت یک فشار خارجی مناسب در مدت زمان معین قرار می‌گیرد تا مخلوط پودری به طور کامل فشرده شود. سپس دما به قدر کافی افزایش داده می‌شود تا PTFE ذوب و یا سینتر شود. پس از اتمام کار ماندلر، محصول تا دمای محیط خنک می‌شود که با ماشین‌کاری به سطح و ابعاد نهایی ریدوم خواهد رسید.

واژه‌های کلیدی: ریدوم‌های کامپوزیتی، الیاف، سینتر، قالب، مخلوط پودری

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد - گرایش شکل دادن فلزات

^۴ کارشناس بخش سازه

مقدمه

در این تحقیق به ریدوم و روش تولید آن پرداخته شده است. در روش اول ریدوم مورد بحث از یک سری حلقه های الیاف تقویت شده با پلی تترافلورواتیلین ساخته شده است. حلقه های مذکور از یک شمش کامپوزیت الیاف-PTFE که به صورت سرد قالبگیری شده، ماشین کاری شده اند و به دنبال آن درون محفظه قالب تحت بارگذاری قرار گرفته اند. سپس این حلقه ها تحت اعمال حرارت و فشار قرار می گیرند تا به یکدیگر سینتر شوند. ساختار حاصله ماشین کاری می شود تا شکل نهایی حاصل شود. ریدوم مورد نظر در برابر سایش و فرسایش ناشی از باران خصوصا در سرعت های ۴ ماخ و یا بالاتر مقاوم است. در گذشته از ریدوم های سرامیکی استفاده می شد که قابل کاربرد در موشک هایی بود که قابلیت حرکت در سرعت های ۴ ماخ (هر ماخ معادل ۳۴ متر بر ثانیه) و یا بالاتر را داشتند. به نظر می رسد که این ریدوم های سرامیکی به علت داشتن خواصی همچون شکنندگی، حساس به شک های حرارتی، هدایت حرارتی بالا و نرخ بالایی آسیب پذیری در اثر ضربات قطرات باران در عملکرد دارای شرایط حساس و مرزی باشند (ترات و کینینگلی، ۱۹۸۲؛ والتون، ۱۹۷۰؛ باسلت، ۱۹۷۳؛ منگلز و میکیجلیج، ۲۰۱۰). در روش دوم نیز به جای استفاده از مجموعه دیسک ها از یک مخلوط پودری فشرده جهت تهیه ریدوم به کمک روش پرس ایزواستاتیک گرم استفاده می شود. شکل گیری ریدوم در این روش به کمک یک ماندل که دارای سطح داخلی ریدوم است، انجام می شود. پس از اتمام کار ماندل، با شرط وجود آن، لایه بهبود یافته PTFE تا دمای محیط خنک می شود و این لایه با ماشین کاری به سطح نهایی رسیده و ریدوم به ابعاد مورد نظر خواهد رسید (ترات و کینینگلی، ۱۹۸۷).

ریدوم های ساخته شده از مواد پلیمری کامپوزیتی به عنوان جایگزینی از ریدوم های سرامیکی پیشنهاد شدند. پلی تترافلورواتیلین، PTFE، یک نمونه از مواد پلیمری هستند که به نظر می رسد برای کاربردهای ریدوم مناسب باشند. این در حالی است که PTFE ساده ساخته شده یا نیت^۵ خواص مورد نیاز، از جمله یکنواختی در خوردگی و فرسایش، در محیط مورد نیاز برای ریدوم یک موشک را دارا نمی باشند. آزمایشات نشان می دهند که PTFE های تقویت شده از الیاف، یعنی یک کامپوزیت PTFE که در آن الیاف دارای نسبت طول به عرض بالایی هستند، دارای خواص مورد نیاز برای ریدوم و کاربرد های مشابه باشند (ترات و کینینگلی، ۱۹۸۲).

پیشینه پژوهش

قبل از تولید این محصول، از لحاظ عملی ساخت ریدومی از جنس کامپوزیت الیاف-PTFE غیر ممکن بود. تولید یک بلوک جامد از PTFE که دارای اندازه کافی باشد تا عملیات ماشین کاری به منظور حصول ریدوم روی آن انجام شود، امکان پذیر نبود چون در واقعیت امکان عملیات حرارتی چنین بلوک بزرگی در دماهای بالاتر از نقطه ذوب (حین گرم کردن) و دمای تبلور مجدد آن (حین سرد کردن) وجود نداشت چراکه این پروسه های گرم کردن و سرد کردن که به دنبال هم انجام می شوند بایستی در یک دمای یکنواخت با کمترین شیب حرارتی انجام شوند تا از شکاف ها و خسارات ناشی از تنش های حرارتی در آنها جلوگیری شود. علاوه بر آن اگر مشکل گرادپان

⁵ neat

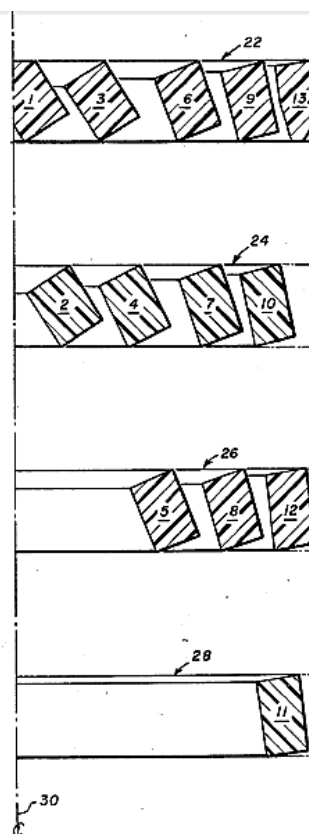
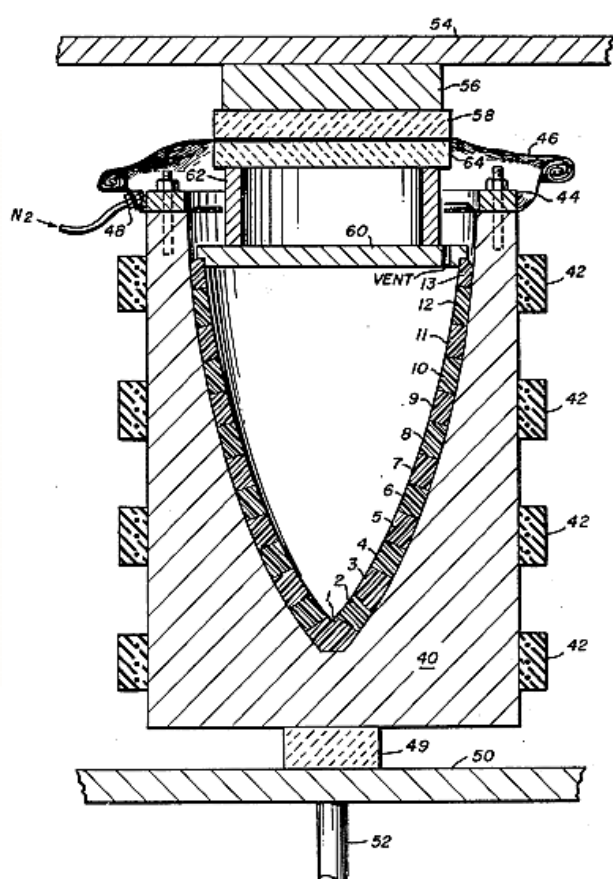
دمایی تنش های حرارتی قابل حل باشند، این امکان وجود دارد که نیاز به سیکل های طولانی مدت گرم کردن و سرد کردن باشد (ممکن است چندین هفته طول بکشد) و این مدت زمان زیاد ممکن است باعث خسارات حرارتی شود (کاری، ۱۹۷۴؛ والتون، ۱۹۷۲؛ رایت، میرز، ریچی، ۱۹۹۲). دیدگاه های دیگری نیز در این زمینه وجود دارند مانند سیلان یک ورق کامپوزیتی از جنس PTFE تا اینکه شکل ریدوم را به خود بگیرد یا اینکه یک سری حلقه ها و دیسک هایی را از این نوع ورق ها ببریم و رویهم قرار دهیم که هر دو مورد پیشنهادی نیاز به تکنیک ها و عملیات ثانویه دارند و مشکلات هزینه و مخارج نیز در آنها وجود دارد که قبلا استفاده از این روش ها و این گونه مواد منسوخ شده است (والتون ۱۹۷۰؛ هریس ۱۹۷۸؛ کوژاکوف، ۲۰۱۰).

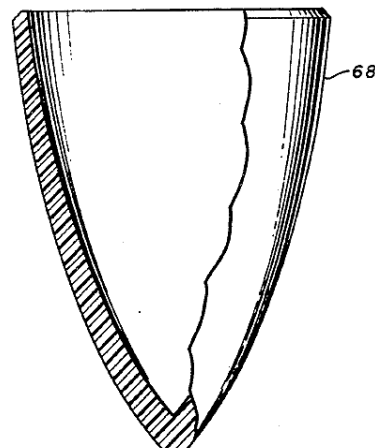
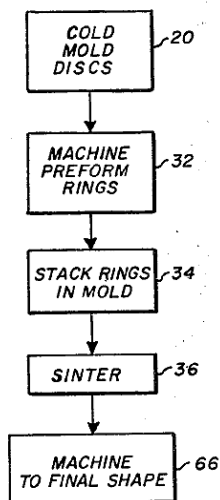
روش پژوهش

محصولی که در زیر در مورد آن صحبت خواهد شد بر مشکلاتی که در بالا ذکر کردیم غلبه کرده و یک ساختار منسجم، بزرگ، پیچیده و واحدی را از جنس کامپوزیت الیاف-PTFE معرفی می کند که برای استفاده به عنوان ریدوم قابل کاربرد است. مطابق با این تحقیق، در روش اول دیسک ها و حلقه هایی از جنس کامپوزیت الیاف-PTFE قالب گیری می شوند. الیاف در جهت قالبگیری جهتگیری می کنند که غالبا در جهت عمود بر محور دیسک می باشند و بنابراین زمانی که یک ریدوم ساخته می شود این الیاف در جهت عمود بر محور ریدوم جهتگیری خواهند داشت. سپس این دیسک ها ماشین کاری می شوند تا یک سری اشکال اولیه و یا سگمنت هایی را در اندازه ها و اشکال مختلف حاصل کنند. این دیسک ها بدون اینکه سطوحشان با یکدیگر در تماس باشد، در قالب در جهت عمود بر دیواره قالب رویهم چیده می شوند. این حالت عمود بودن با پخ زدن وجوه سگمنت ها حاصل می شود. در مراحل بعدی از لغزش شعاعی این سطوح پخ زده شده که با یکدیگر در تماس نیستند، جلوگیری می شود. محفظه قالب به شکل سطح خارجی ریدوم مورد نظر و یا سایر اشکالی که ساخت آنها مدنظر است، می باشد. سپس سگمنت هایی که درون قالب قرار گرفته اند تحت فشار محوری قرار می گیرند و طی یک سیکل عملیات حرارتی سینتر می شوند که پلیمر از نقطه ذوب کریستالی خود عبور می کند و این حرارت باعث می شود عمل نفوذ مابین اتصالات اتفاق بیفتد و در مرزهای حلقه های مجاور پیوند حرارتی رخ دهد. به دنبال آن عمل سرد کردن به آرامی تا نقطه تبلور مجدد آغاز می شود و سرد کردن تا دمای اتاق ادامه پیدا می کند. چنین ساختاری که با یکدیگر اتصال پیدا کرده اند از درون قالب بیرون آورده می شوند و سطوح داخلی و خارجی آنها مطابق با شکل مورد نظر ریدوم (و یا هر قطعه ای دیگر) ماشین کاری می شوند (ترات و کینینگلی، ۱۹۸۲).

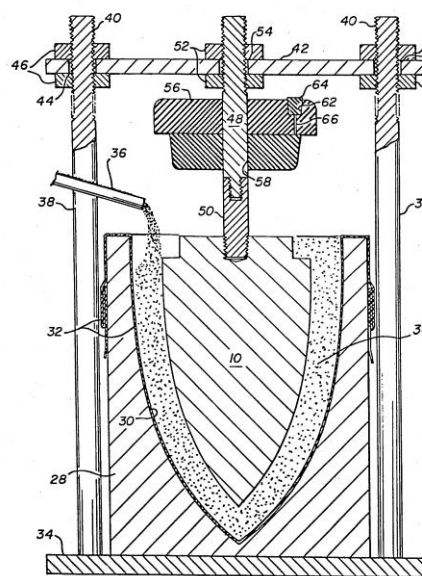
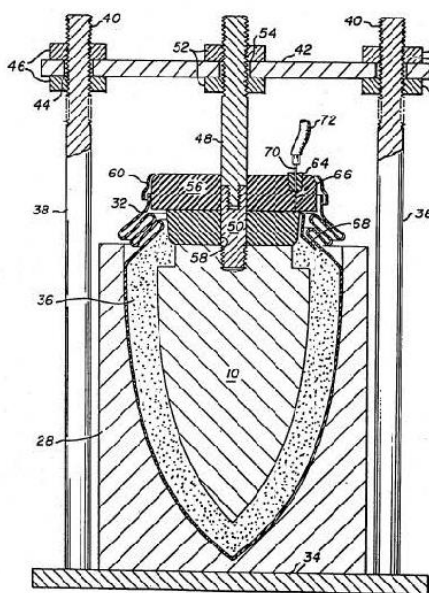
در روش دوم ساختار ریدوم تحقیق حاضر، از یک مخلوط فشرده و یکنواخت از پودرهای PTFE و الیاف تقویت کننده در اطراف ماندلر کمک گرفته می شود. ماندلر دارای یک سطح داخلی است که به سطح داخلی ریدوم مورد نظر شباهت دارد. ماندلر به همراه مخلوط پودری فشرده شده که در اطراف آن قرار دارد، تحت یک فشار خارجی مناسب در مدت زمان معین قرار می گیرد تا مخلوط پودری به طور کامل فشرده شود و به بالاترین دانسیته خود برسد. برای اینکه اطمینان کامل مبنی بر جهتگیری کسر زیادی از الیاف در صفحه موازی با داخلی ترین سطح ماندلر حاصل شود، بایستی فشار به طور برابر به تمام سطح ماندلر در جهت عمود بر صفحه ماندلر اعمال

شود. به این روش ترجیحی اعمال فشار، تکنیک پرس ایزواستاتیک می گویند. پودر و ماندل در میان یک بسته مهرموم شده قرار گرفته اند تا تحت اعمال فشار از نفوذ سیال به درون آن جلوگیری شود. بیشتر ترجیح داده می شود که هر گونه هوایی را از بسته و پودر خارج کنند تا از ترک در لایه پودری حین آزاد شدن (حذف) فشار اعمالی جلوگیری شود. زمانیکه در اثر اعمال فشار لایه پودری فشرده می شود، دمای آن را به قدر کافی افزایش می دهند تا PTFE ذوب و یا سینتر شود. پس از اتمام کار ماندل، با شرط وجود آن، لایه بهبود یافته PTFE تا دمای محیط خنک می شود و این لایه با ماشین کاری به سطح نهایی رسیده و ریدوم به ابعاد مورد نظر خواهد رسید (ترات و کیننگلی، ۱۹۸۷).

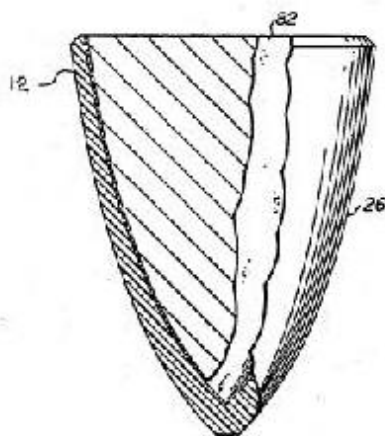




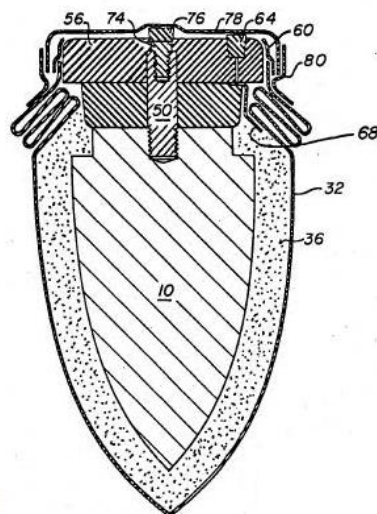
شکل ۳: طرف جانبی ساختار نهایی یک ریدوم را نشان می دهد (روش اول).
شکل ۴: دیاگرام نمایشی از مراحل تولید فرایند مورد نظر (روش اول).



شکل ۵ و ۶: نمایشی از سطح مقطع روش فشرده کردن پودر کامپوزیتی PTFE در اطراف ماندل (روش دوم).



شکل ۸: تصویری از ضخامت ریدوم نهایی (روش دوم).



شکل ۷: نمایشی از سطح مقطع روش فشرده کردن پودر کامپوزیتی
PTFE در اطراف ماندل به همراه نمایش کیسه پلاستیکی (روش دوم).

تجزیه و تحلیل داده ها

در روش اول با مراجعه به اشکال ۱، ۲، ۳ و ۴ نخستین مرحله (۲۰) در تولید اختراع مورد نظر شامل تشکیل یک سری از دیسک های ۲۲، ۲۴، ۲۶ و ۲۸ است. این دیسک ها متشکل از ۹۵ تا ۵۰ درصد وزنی از PTFE، یعنی TEFLON7A و مابقی یعنی از ۵ تا ۵۰ درصد وزنی آنها از الیاف تقویت کننده است. ممکن است الیاف تقویت کننده متشکل از مواد سرامیکی، میکروالیاف شیشه ای و یا مواد مشابه دیگر باشند. بنابراین به طور تمثیل الیاف به کار گرفته شده در این تحقیق ممکن است از نوع 104E باشند که میکروالیاف شیشه ای هستند و از شرکت Johns-Mannvill تهیه گردیده اند و یا ممکن است از الیاف سیلیکات آلومینیوم با نام Fiberfrax باشند که از شرکت Carborundum خریداری شده اند. الیافی که غیر آلی هستند، قطر آنها در محدوده ۰/۰۵ تا ۱۰ میکرومتر قرار می گیرد و نسبت طول به عرض آنها حداقل برابر با ۳۰ است.

پودرهایی که دیسک های ۲۲، ۲۴، ۲۶ و ۲۸ را تشکیل می دهند، از قبل ترکیب می شوند و به منظور اطمینان در کلوخه نشدن به دقت مورد ارزیابی قرار می گیرند و در نهایت پس از آسیاب کاری قالبگیری سرد می شوند. نکته قابل توجه و با اهمیت این است که دیسک های ۲۲، ۲۴، ۲۶ و ۲۸ و قطعات اولیه که این دیسک ها از آنها جدا می شوند، بایستی دارای توزیع یکنواختی از الیاف بوده و دانسیته آنها از یکنواختی مناسبی برخوردار باشد. رسیدن به این مهم وقتی حاصل می شود که در مرحله قالبگیری سرد از یک فشار خطی مستقیم به منظور فشرده کردن پودر استفاده کنیم. این روش تولید دیسک ها سبب می شود تا عمده الیاف دارای یک جهتگیری باشند که در آن معمولا آنها عمود بر جهت فشار قالبگیری هستند.

همانطور که در شکل ۴ به مرحله ۳۲ اشاره شده است، این دیسک ها ماشین کاری می شوند تا یک سری اشکال اولیه ی حلقوی ۱ تا ۱۳ را مطابق با شکل ۱ بسازند. این اشکال اولیه پشت سر هم نامگذاری می شوند تا مکان قرارگیری آنها در قالب مشخص شود. اگر بخواهیم با جزئیات بیشتر صحبت کنیم شکل و اندازه این اشکال اولیه طوری است که وقتی آنها در درون قالب به رویهم چیده می شوند، سطوح مجاور آنها در تماس با یکدیگر خواهد بود. به علاوه زوایای این سطوح مجاور و یا به عبارتی شیب وجوه حلقه ها طوری انتخاب می شود که عمود بر دیواره قالب باشند تا در نهایت زمانی که این اشکال اولیه چیده می شوند، آرایش کله قندی از شکل ریدوم مورد نظر را ایجاد نمایند. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، حلقه های متعددی می تواند از هر یک دیسک هایی که با قالبگیری سرد مهیا می شوند، تهیه گردد. این امر را می توان در شکل های ۱ و ۲ مشاهده نمود که تمامی اشکال اولیه به استثنای انتهای سگمنت ۱ دارای شکل حلقوی هستند. انتهای سگمنت ۱ ماشین کاری می شود تا با شکل پایین سطح داخلی محفظه قالب مطابقت پیدا کند (منظور از محفظه مکان قرارگیری اشکال اولیه در قالب است).

به منظور ساده سازی در مراحل تولید این اختراع، در ابتدا اشکال اولیه حلقه های ۱ تا ۱۳ توسط ماشین تراش از دیسک های ۲۲ تا ۲۸ جدا می شوند. این امر در ابتدا با رویارویی دو طرف هر یک از دیسک ها انجام می شود و در مرحله دوم وجوه با یک محیط تغذیه مرکب ثابت بریده می شوند. به دنبال آن طرف اولیه هر یک از دیسک ها به طریق مشابه بریده می شوند به طوری که تیغه تا میانه ضخامت هر یک از دیسک ها پیشروی می کند. متعاقبا قطعات برش داده شده از طرف دوم هر یک از دیسک ها تهیه می شوند به نحوی که به قدر کافی عمیق هستند تا توسط گوشه ها گرفته و درگیر شوند تا در نهایت وجوه پخ دار ساخته شود. در طول مرحله دوم برش به منظور حمایت کافی، ماده به قدر کافی بین حلقه ها قرار می گیرد. زوایای وجه که از طرف دیسک اول جدا می شوند، از لبه خارجی هر یک از حلقه ها جدا می شوند تا اولین وجوه پخ دار را شکل دهند. به دنبال آن وجوه بریده شده که از اطراف دوم بریده می شوند، از لبه داخلی هر یک از حلقه ها شروع می شوند تا دومین وجوه پخ دار را شکل دهند. در نهایت، با عمل برش از طرف دوم حلقه ها از هم جدا می شوند. به طور خلاصه مرحله دوم ۳۲ در ساخت این اختراع، شامل ماشین کاری سطوح پخ دار شده از حلقه های وجوه مسطح است که از دیسک های با جنس الیاف تقویت شده با ترکیبات PTFE تهیه شده از فرایند قالبگیری سرد بوجود می آیند. همچنین ممکن است دیگر تکنیک های ماشین کاری به کار گرفته شوند. ماشین کاری با ماشین تراش به نظر می رسد یک روش عملی برای تولید حلقه های اولیه از شمش های قالبگیری شده ۲۲، ۲۴، ۲۶ و ۲۸ باشد.

با مراجعه به شکل ۲ همانطور که در مرحله ۳۴ در شکل ۴ به آن اشاره شده است، حلقه های از پیش ساخته شده و ماشین کاری شده، در محفظه قالب ۴۰ (همانطور که نشان داده شده است) تحت بارگذاری قرار می گیرند. به منظور ساده سازی در تولید و ساخت اختراع، قالب ۴۰ شامل یک بلوک آلومینیومی ماشین کاری شده است به طوری که دارای یک سطح داخلی است که با شکل نهایی ریدوم مورد نظر تطابق دارد. حفره و یا همان محفظه قالب طوری طراحی شده است که انبساط محوری و انقباض قطعه قالبگیری شده و نیز کاهش حجم شعاعی را فراهم می آورد. اشکال اولیه ی حلقه ها سینتر می شوند تا به یک ساختار واحد دست پیدا کنند و با حرارت دادن یکنواخت قالب ۴۰ می توان از بوجود آمدن شکاف و یا عیوب القایی حرارتی در آنها جلوگیری کرد. با یک تجسم آشکار، حرارت دادن

شامل ۴ حرارت دهنده مقاومتی ۴۲ در شکل باندهای پیچیده شده اطراف سطح خارجی قالب ۴۰ است. مشخص شده است که به منظور جلوگیری از هجوم هوا به پلیمر در ناحیه فصل مشترک بین حلقه ها، درزگیری حفره قالب نسبت به محیط بایستی فراهم گردد. بنابراین یک حلقه ۴۴ که حالت بست و گیره دارد، در قسمت بالای محیط پیرامون قالب ۴۰ فراهم شده است. حلقه ۴۴ به منظور اتصال لبه ی یک پوشش از فویل آلومینیوم (۴۶) به بخش بالایی قالب ۴۰ به کار گرفته می شود. همانطور که در ۴۸ دیده می شود، پوشش ۴۶ با یک بست لوله ای تهیه شده است در جایی که قسمت داخلی پوشش و قالب ممکن است توسط یک منبع از نیتروژن خالص و خشک اتصال پیدا کنند.

همانطور که مشاهده می شود، قالب ۴۰ توسط یک بلوک عایق حرارت ۴۹ حمایت می شود که بر روی یک صفحه متحرک ۵۰ قرار می گیرد. صفحه ۵۰ با میله رابط ۵۲ به یک جفت سیلندر هیدرولیک متصل می شود تا منبع فشار کنترل شود که به موجب آن فشار محوری ممکن است به قطعه ای که در طول مرحله سینتر در حال شکل گیری است، اعمال شود. میله رابط ۵۲ و صفحه ۵۰ اصراری ورزند که قالب ۴۰ به سمت بالا و به سوی یک صفحه ثابت ۵۴ روانه شود. این کار بوسیله بلوک ۵۶ و یک حمایت کننده ۵۸ که عایق حرارت است انجام می شود. در حین بارگذاری محفظه قالب، قبل از عایق کاری پوشش فویل آلومینیومی ۴۶، یک مجموعه گیره در محفظه قالب نصب می شوند. این مجموعه گیره شامل یک دیسک فشاردهنده ی آلومینیومی ۶۰ است که در یک حلقه ۶۲ قرار می گیرد که طول آن به سمت پایین از یک بلوک عایق حرارت ۶۴ دیگر گذر می کند. یک بخش از پوشش فویل ۴۶ بین قطعات عایق حرارتی ۵۸ و ۶۴ فشرده و ساندویچ شده است. دیسک فشاردهنده ۶۰ با یک دهانه ۶۶ یا یک دهانه چندتایی ایجاد شده اند تا این امکان را برای شارش نیتروژن به سمت داخلی محفظه قالب فراهم آورد. همچنین دیسک ۶۰ با برش سطح خارجی یک حلقه ایجاد می شود که یک شولدری را شکل می دهد که پیرامون قسمت پایینی آن را پوشش می دهد. همانطور که در شکل ۲ نشان داده است، شولدر به بالاترین قسمت حلقه ۱۳ متصل می شود. دیسک ۶۰ از خم شدن و فرو نشستن اشکال اولیه حلقه ها که رویهم چیده شده اند، به طور کامل در مرحله سینتر کردن جلوگیری می کند. این عمل با به کارگیری اعمال نیروی محوری به چیدمان حلقه ها انجام می شود.

بعد از اینکه قالب مطابق با شکل ۴ و آنچه که در مرحله ۳۶ نشان داده شده است، تحت بارگذاری قرار می گیرد، سیکل سینتر کردن آغاز می شود. به طور همزمان با فراهم سازی انرژی از هیترهای ۴۲ شارش نیتروژن آغاز می شود. با نگهداری نیتروژن در بالای دیسک ۶۰، هوا به سمت خارج از محفظه قالب نفوذ می کند. مجدد ذکر می شود که در زمانی که دمای کامپوزیت به بالای ۳۰۰ درجه سانتیگراد می رسد، در این بازه زمانی امکان حمله اکسیژن وجود دارد لذا بایستی به کمک نیتروژن تمامی هوای درون قالب به سمت بیرون هدایت شود. مطابق با اختراع مورد نظر یک سیکل سینتر کردن طولانی به کار گرفته می شود تا دما در حین ذوب کردن فاز پلیمر درست در نقطه ذوب کریستالی به یکنواختی برسد. دلیل این امر آن است که ماده به صورت فشرده و آهسته شارش پیدا کند و در طول انبساط حرارتی به صورت یکنواخت شکل قالب را به خود بگیرد. در ضمن بایستی به این نکته توجه شود که همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، در بالای اشکال اولیه حلقه ها، فضای محفظه قالب بایستی به قدر کافی باشد تا وقتی که پیک انبساط

رخ می دهد، قطعه در حال شکل گیری از سطح بالایی قالب تجاوز نکند و از ورود گاز نیتروژن جلوگیری به عمل آورد؛ نیتروژن از ورود هوا به درون فویل آلومینیوم جلوگیری به عمل می آورد. فشار محوری به اشکال اولیه حلقه های درون قالب در حین فرایند سینتر کردن وارد می شود. این نیروی اعمالی بکمک مانیتور کردن و کنترل فشار درون یک سیلندر هیدرولیک (متصل به میله رابط ۵۲) حفظ می شود. بدلیل انبساط و انقباض کار، نیروی اعمالی تغییر خواهد کرد از این رو لازم است که به قدر کافی فشار هیدرواستاتیک در این شرایط ثابت و پایا باشد. نیروی اعمالی سبب می شود تا وجوه پخ دار مجاور به هم از اشکال اولیه سگمنت های ماشین کاری شده، هماهنگی و یکنوایی یکدیگر را حفظ کنند و با یکدیگر در طول مراحل مختلف سیکل سینتر کردن در تماس باشند، بویژه در انبساط در نقطه ذوب کریستالی و در دوره سیال بودن در دمای بالاتر از ذوب کریستالی.

همانطور که در بالا اشاره شد مطابق با تحقیق حاضر، یک سیکل سینتر کردن طولانی به کار گرفته می شود. یک مشخصه مهم از این سیکل دمای انتقال پلیمر است که از سگمنت سیکل ناشی می شود. با به کارگیری تجهیزات مناسب، که در شکل ها نشان داده نشده است، ممکن است عملیات حرارتی برنامه ریزی شود و متعاقبا با یک برنامه چند مرحله ای کنترل گردد. به طور خلاصه در عمل، حلقه های اولیه که ساخته می شوند متشکل از ۸۵ درصد وزنی PTFE و ۱۵ درصد وزنی الیاف میکروشیشه هستند که میانگین قطر آنها به ۰/۲ و میانگین طول آنها به ۲ میلیمتر می رسد و ضخامت آنها در بازه ۱۳ تا ۲۲ میلیمتر قرار میگیرد. ضخامت در راستای عمود بر دیواره های قالب اندازه گیری شده است که تابعی از قطر محفظه قالب است. در ضمن در طول مرحله سینتر کردن، فشار محوری در بازه ۳/۳۵ تا ۴/۱۳ کیلونیوتون به قالب ۴۰ اعمال می گردد. به طور نمونه سیکل سینتر کردن و کنترل آن می تواند مطابق با طریق جدول زیر توصیف گردد:

جدول ۱: سیکل سینتر کردن

مدت زمان بر حسب ساعت از شروع	۰	۴	۲۴	۳۲	۴۶	۵۰
دمای قالب بر حسب درجه سانتیگراد	۲۳	۲۷۵	۳۷۰	۳۷۰	۲۷۵	۱۰۰

بایستی به این نکته توجه شود که در مقایسه با بخش اولیه سیکل حرارت دهی، نرخ حرارت دهی و افزایش دما در نقطه ذوب پلیمر یعنی از بازه ۲۷۵ تا ۳۷۰ درجه سانتیگراد، بسیار زمان بر است. با توجه بیشتر به این نکته که دمای ماکزیمم، که در یک بازه زمانی ۲۴ تا ۳۲ ساعته از سیکل رخ می دهد؛ در محدوده دمایی ۳۸۰ تا ۳۹۵ درجه سانتیگراد خواهد بود. درست در دماهای پایین تر از این محدوده تجزیه PTFE شروع خواهد شد. با ذکر و یادآوری این نکته که PTFE اولیه یک نقطه ذوب در محدوده ۳۳۳ تا ۳۳۸ درجه سانتیگراد دارد، تحقیق حاضر بر این اندیشه استوار است که یک غوطه وری حرارتی در بالای نقطه ذوب برای یک مدت طولانی انجام شود تا پیوستگی حرارتی در سراسر مرزهای حلقه های اولیه تضمین شود. این غوطه وری حرارتی در بالای نقطه ذوب معمولا از ۴ تا ۹

ساعت به طول می انجامد. پلیمر در بدو کار اساسا به شکل کریستال است. زمانی که دما به بالای نقطه ذوب آن می رسد، پلیمر تبدیل به یک ماده لاستیکی آمورف می شود و زنجیره های آن در سراسر اتصالات نفوذ خواهند کرد که به موجب آن حلقه های منفرد در نتیجه فشار اعمالی به یکدیگر می پیوندند و ساختار یکپارچه ای را حاصل می کنند. بایستی به این نکته نیز توجه شود که زمانی که پلیمر به نقطه ذوبش می رسد، به طور قابل ملاحظه ای انبساط پیدا می کند ولی این انبساط در یک بازه زمانی طولانی با افزایش جزئی دما همراه خواهد بود. اگر سطوح مجاور از حلقه های اولیه به صورت پخدار نباشند، بدین معنی که عمود بر دیواره محفظه قالب باشند، احتمال لغزش میان حلقه ها در طول این انبساط وجود خواهد داشت.

مطلوب است که قطعه شکل گرفته به آرامی سرد شود و در نقطه تبلور مجدد آن یعنی بازه زمانی ۳۱۵ تا ۳۲۰ درجه سانتیگراد بایستی کل قطعه به طور همزمان سرد و منجمد شود. رویه سرد کردن بایستی به گونه ای باشد که تنش های انقباضی به حداقل مقدار خود برسد. قطعه در راستای طول نسبت به راستای شعاعی مطابق با بحث جهتگیری الیاف که از قبل آن را ذکر کردیم، دارای انقباض بیشتری خواهد بود. این در حالی است که افت حجم در راستای شعاع به قدری کافی است که قطعه از دیواره داخلی قالب (به استثنای قسمت تحتانی آن) به سمت بیرون حرکت خواهد کرد. بدین دلیل است که نوک حلقه ۱ به طوری شکل میگیرد که با محفظه قالب درگیری و اتصال نخواهد داشت.

به دنبال سرد کردن، بلوک ریدوم و یا دیگر قطعات از قالب ۴۰ جدا و ماشین کاری خواهند شد که این امر در مرحله ۶۶ و در شکل ۴ به نمایش درآمده است و شکل مطلوب نهایی در ۶۸ و در شکل ۳ نشان داده شده است. درست است که مطالب فوق مربوط و محدود به کامپوزیت های الیافی و PTFE می شود ولی دیگر فلوروپلیمرها نیز ممکن است اضافه شوند تا نیازمندی های فرایند را اصلاح سازند که به دنبال آن بتوان خواص مطلوبی بدست آورد. معمولا چنین اضافه شونده هایی سبب کاهش نقطه ذوب، کاهش ویسکوزیته مذاب، افزایش قابلیت ترشوندگی الیاف یا سطوح پرکننده و بسته شدن حفرات در اشکال اولیه می شوند. اضافه شونده های فلوروپلیمیری که قابل کاربرد و استفاده را دارند تنها محدود به کوپلیمرهای تترافلورواتیلن و هگزاfluوروپروپن نمی شوند (ترات و کینینگلی، ۱۹۸۲).

روش دوم

مطابق با تصاویر رسم شده (اشکال ۵، ۶، ۷ و ۸) فرایند حاضر شامل فشردن یک مخلوط پودری پلی تترافلورواتیلن (PTFE) است تا لایه ۱۲ اطراف ماندل ۱۰ شکل بگیرد. ماندل ۱۰ ترجیحا از جنس آلومینیوم است و دارای سطح داخلی ۱۶ است که به سطح داخلی ریدوم شباهت دارد. ماندل ۱۰ با هر نوع ماشین کاری معمولی قابل حصول است و ممکن است برای فرایندهای متعدد از ریدوم ها در اشکال مطلوب مجددا مورد استفاده قرار گیرد. ترجیحا ماندل ۱۰ با برش از زیر ۱۴ حاصل می شود که تابع موارد مورد بحث آتی خواهد بود. لایه ۱۲ ترکیبی از مخلوط ذرات تقویت کننده و زمینه پلیمری PTFE می باشد. این مخلوط پودری از یک فرایند خشک حاصل می شود که متشکل از ذرات PTFE به همراه الیاف است. در ضمن مخلوط پودری از یک الک عبور داده شده است تا از ورود کلوخه ها جلوگیری شود.

محتوی پودر نهایی دارای یک دانسیته حجمی ترجیحی در حدود 0.25 gr/cm^3 است. الیاف تقویت کننده ای که در این تحقیق مورد استفاده قرار می گیرند ممکن است متشکل از مواد سرامیکی، میکرو الیاف های شیشه ای و یا مواد مشابه دیگری باشند. الیافی که معدنی (غیر آلی) هستند، معمولاً قطر آنها در دامنه 0.05 تا 10 میکرومتر قرار میگیرد و حداقل دارای نسبت طول به عرض ترجیحی برابر با ۳۰ هستند. میزان الیاف مخلوط پودری در نهان بایستی در محدوده ۵٪ تا ۴۰٪ باشد.

درست است که در مبحث فوق ما تنها استفاده از PTFE را مطرح کردیم اما در بعضی مواقع به منظور دستیابی به خواص مورد نظر و یا اصلاح نیازهای فرایند ممکن است دیگر فروپلیمرها به PTFE اضافه شوند. معمولاً چنین اضافه شونده هایی دارای نقطه ذوب پایین تری هستند، ویسکوزیته ذوب پایین تری دارند، و در خیس کردن الیاف و یا پر کردن سطوح و حفرات از توانایی بالاتری برخوردار هستند. انواع دیگر از رزین های PTFE که ممکن است مورد استفاده قرار بگیرند. Teflon 7c و یا دیگر PTFE هایی هستند که به صورت تجاری دانه دانه هستند و یا توزیع لخته مانند از PTFE ها دارند. در نهایت فلوروپلیمرهای که امکان ذوب آنها وجود دارد، مانند Du-points، Teflon، FEP و یا PFA ممکن است اضافه شوند تا در طول مرحله سینتر کردن به انعقاد و به هم آمیختگی کمک کنند.

این امکان نیز وجود دارد که کامپوزیت های با الیاف PTFE را از طریق یک دوقاب آبی مهیا کنیم. برای این کار بایستی در یک مخلوط آب و الیاف توزیع مناسبی از PTFE به همراه یک عامل انعقاد کننده داشته باشیم. سپس آب این دوقاب توسط خلا گرفته می شود به طوری که از سوراخ های یک شکل پارچه مانند گذر می کند تا یک شکل پوسته ای شبیه به ماندل ۱۰ به خود بگیرد. بعد از عملیات خشک کردن، یک شکل خمیری مانند با تراکم پایین و قطر داخلی مناسب حاصل می شود. در ساخت چنین اختراعی یک مثال عملی وجود دارد و آن هم توزیع مناسب PTFE در FluonAD704 است که در آمریکا توسط ICI تولید شده است.

با مراجعه به اشکال ۵، ۶، ۷ و ۸ روشی ترجیحی برای فشرده کردن لایه ۱۲ در اطراف ماندل ۱۰ دیده می شود. قالب ۲۸ با حفره ۳۰ مهیا شده که دارای آرایشی مشابه با شکل خارجی ریدوم است. کیسه پلاستیکی ۳۲ که تقریباً شکل حفره ۳۰ را دارد در داخل حفره ۳۰ قرار گرفته است و ابتدا و انتهای آن در سرتاسر قالب ۲۸ کشیده شده است. فضای بین کیسه ۳۲ و حفره ۳۰ توسط یک پمپ (در شکل نشان داده نشده است) با حجم بالا خلا شده است که به حفره ۳۰ توسط کانال های مهیا شده در قالب ۲۸ (که آن هم نشان داده نشده است) متصل گردیده است. این امر تطابق و همسازی کیسه ۳۲ را به سطح حفره ۳۰ نشان می دهد.

قالب ۲۸ در بالای صفحه اصلی ۳۴ قرار گرفته است و بروی این صفحه سه قاب تیرک ۳۸ (که تنها ۲ تا از آنها در شکل دیده می شود) سوار شده است. تیرک های ۳۸ آرایش مثلثی به خود گرفته اند و به بخش انتهایی ۴۰ حدیده شده اند. یک صفحه حمایت کننده ۷ شکل ۴۲ بروی تیرک های ۳۸ سوار شده است. این امر با عبور دادن از حدیده های انتهایی ۴۰ از طریق روزنه های ۴۴ از صفحه ۴۲ انجام شده است. از صفحه ۴۲ در ارتفاعی مشخص توسط مهره های ۴۶ در هر طرف از این صفحه حفاظت می شود.

برروی صفحه حمایت کننده ۷ شکل ۴۲ دو شافت حمایت کننده ۴۸ و ۵۰ (که هر دو بهم متصلند) قرار گرفته اند. هر دو انتهای شافت ۴۸ حدیده شده است این درحالی است که تنها یک انتهای شافت ۵۰ حدیده و رزوه شده است و انتهای دیگر آن از داخل رزوه شده که به یکی از دوسر انتهای شافت ۴۸ متصل می شود. انتهای دیگر شافت ۴۸ از روزنه ۵۴ واقع در صفحه ۴۲ گذر می کند و صفحه ۴۲ را با جفت مهره ۵۲ نگهداری می کند.

انتهای شافت ۵۰ که رزوه شده است به ماندل ۱۰ متصل می گردد. سپس ماندل ۱۰ به سمت حفره ۳۰ قالب ۲۸ پایین آورده می شود تا فاصله مطلوب بین حفره ۳۰ و ماندل ۱۰ حاصل شود. این عمل با انتخاب مناسب مکان مهره های ۴۶ و ۵۲ محقق می شود. این فاصله بایستی به قدر کافی باشد تا اجازه دهد مقادیر مناسبی ازپودر کامپوزیت PTFE ۳۶ در کیسه ۳۲ قرار بگیرد. سرپوش الاستومتری ۵۶، ترجیحا در دو بخش، اطراف شافت های ۴۸ و ۵۰ قبل از اتصال با ماندل ۱۰ از طریق حدیده کردن، قرار می گیرد. سرپوش ۵۶ دارای سوراخ ۵۸ می باشد که امکان عبور را برای شافت های ۴۸ و ۵۰ مهیا می کند، اتصال بسیار خوب و مناسبی را فراهم می آورد که محیط به خوبی به حالت خلا در آمده است. سرپوش ۵۶ نیز دارای حفره ۶۲ می باشد تا چوب پنبه (سرپوش) لاستیکی ۶۴ را به خوبی دریافت کند و بر مبنای حفره ۶۲ با یک پورت خلا ۶۶ مهیا شده است.

اکنون پودر ۳۶ به مکانی توسط ارتعاش یا ضربات مداوم به منظور پرکردن آن مکان، الک می شود. بایستی بسیار احتیاط شود تا پودر ۳۶ به طور مناسب و مساوی در کیسه ۳۲ توزیع شود. بعد از آنکه کیسه ۳۲ به طور کامل پر شد، بایستی آن را بست. این عمل با حرکت به سمت پایین یک سرپوش دیسک مانند الاستومتری ۵۶ در راستای شافت های ۴۸ و ۵۰ انجام می شود تا ماندل ۱۰ را به طور تمام و کمال در بر گیرد. سپس کیسه ۳۲ با نوار به سرپوش ۵۶ متصل می شود که ترجیحا این عمل با نوار پلاستیکی حساس به فشار ۶۰ انجام می گیرد. این عمل از ورود ناخواسته مایعات به کیسه ۳۲ حین مرحله پرس ایزواستاتیک ۲۰ انجام می شود.

می توان دریافت که با تخلیه هوا از کیسه ۳۲ و پور ۳۶ از ترک ها و شکاف ها در حین برداشت بار فشاری از پرس ایزواستاتیک در مرحله ۲۰ جلوگیری می شود. ترجیحا این عمل به کمک قرارگیری یک تسمه پارچه ای ۶۸ در مقابل پورت ۶۶ انجام میشود که مابین دو مقطع درپوش ۵۶ و بالای پودر PTFE ۳۶ قبل از مهرموم کردن کیسه ۳۲ خواهد بود. یک سوراخ سوزنی بزرگ زیرپوستی ۷۰ در طول چوب پنبه ۶۴ درون پورت ۶۶ ایجاد می شود. سپس هوای کیسه ۳۲ و پودر ۳۶ با ضمیمه کردن سوزن ۷۰ به سمت بیرون کشیده می شود تا یک پمپ خلا (که در شکل نشان داده نشده است)، در سرتاسر لوله ایجاد شود. مجددا پمپاژ کردن هوا به سمت بیرون در طول مدت ۱ ساعت ادامه می یابد. بعد از آن که تمامی هوا بیرون کشیده می شود، سوزن ۷۰ برداشته شده و چوب پنبه ۶۴ به طور خودکار بسته خواهد شد. شافت ۴۸ از قید و بند با شافت ۵۰ رها می شود و یک پیچ ماشینی ۷۴ و یک چوب پنبه ۷۶ جایگزین آن می شود. این عمل یک درزگیری مناسب را ضمانت می کند. کیسه الاستومتری دوم ۷۸ به روی آن قرار می گیرد و توسط نوارچسب ۸۰ به سرپوش ۵۶ متصل می گردد.

زمانی که هوا از کیسه ۳۲ و پودر ۳۶ به سمت بیرون کشیده می شود، کیسه ۷۸ مهرموم شده و مرحله پرس ایزواستاتیک ۲۰ شروع به انجام خواهد کرد. این مرحله شامل قرارگیری کیسه مهرموم شده و تخلیه شده از هوا ۳۲ و ماندل ۱۰ و پودر ۳۶ به درون یک پرس ایزواستاتیک سرد است که مجراهایی با فشار بالا (که در شکل نشان داده نشده است) از آب و یا دیگر مایعات مناسب دارد که به کیسه ۳۲ و یا ۷۸ صدمه نخواهند زد. به کمک یک پمپ، فشار مایع به آرامی بالا خواهد رفت تا به ماکزیمم مقدار مطلوب خود برسد که معمولاً در بازه زمانی یک ساعته فشار به ماکزیمم مقدار خود یعنی 30000psi خواهد رسید و در این فشار به مدت ۵ دقیقه خواهد بود. سپس فشار به آرامی با نرخ 14.7psi در مدت زمان ۴۵ دقیقه تا یک ساعت تنزل خواهد کرد. آزادسازی فشار معمولاً به کمک یک شیر فلکه سوزنی فشار بالا انجام می شود. بایستی دقت کرد که کاهش فشار سریعاً انجام نشود. اگر این امر اتفاق بیفتد لایه پودری فشرده شده ۱۲ شکسته خواهد شد. مطابق با آنچه که در ارتباط با پرس ایزواستاتیک می دانیم، فشارهای ترجیحی در بازه ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع می تواند در بازه زمانی ۳۰ تا ۶۰ دقیقه حاصل شود. ماکزیمم فشار بایستی در بازه زمانی ۱ تا ۱۰ دقیقه نگهداری شود. به علاوه فشار می تواند از بیشینه مقدار خود تا فشار محیط در مدت زمان ۵ تا ۶۰ دقیقه برسد. مطابق با آنچه که در مباحث فوق گفته شد، ماندل ۱۰ با برش از زیر ۱۴ آماده می شود. این عمل ضمانت می کند که لایه ۱۲ قفل شده و در بالای ماندل ۱۰ بعد از اتمام مرحله ۲۰ باقی می ماند.

بعد از کامل شدن مرحله پرس ایزواستاتیک ۲۰، پودر در داخل لایه ۱۲ فشرده می شود که به دانسیته نهایی و مورد نظر بسیار نزدیک می شود که دارای درصد عمده ای از الیاف جهتگیری شده به شکل مطلوب می باشد. الیاف در لایه ۱۲ قبل از انجام مرحله پرس ایزواستاتیک ۲۰ به صورت رندوم در تمام جهات به طور مساوی جهتگیری کرده اند. فشار اعمالی در طول مرحله ۲۰ در جهت عمود به سطح ماندل ۱۰ به کار گرفته می شود. این امر باعث می شود تا درصد زیادی از الیاف در داخل لایه ۱۶ به صورت رندوم در یک صفحه ای موازی با نزدیک ترین سطح ماندل ۱۰ جهتگیری کنند. لایه ۱۲ نیز به ماندل ۱۰ در برش از زیر ۱۴ با اعمال فشار متصل می شود. بعد از کامل شدن مرحله ۲۰ ماندل ۱۰ و لایه فشرده شده ۱۲ به مرحله سیکلی سینترینگ ۲۲ انتقال می یابند. این مرحله شامل جداسازی ماندل ۱۰ و لایه ۱۲ از کیسه الاستومتری ۳۲ و قرار دان لایه ۱۲ در محدوده دمایی ۳۵۰-۴۰۰ درجه سانتی گراد است. گفتنی است دمای ترجیحی در این حالت ۳۸۰ درجه سانتیگراد است. عملیات گرمادهی با قراردادن ماندل ۱۰ و لایه ۱۲ تحت یک گردش (تحت نیرو) انجام می شود که محیط آن توسط گاز نیتروژن خنثی شده است. در بازه زمانی ۳ تا ۳۰ ساعت به دمای سینترینگ خواهیم رسید که با نائل شدن به این دما بایستی به مدت ۱ تا ۸ ساعت در آن نگهداری کنیم. بعد از ماندل و لایه ۱۲ تا دمای محیط خنک می شوند. حتماً بایستی در موقع حرارت دادن و خنک کردن مراقب ماندل و لایه ۱۲ بود. دمای ماندل ۱۰ و محیط اطراف آن بایستی در یک محدوده دمایی قرا بگیرند. این امر زمانی بحرانی می شود که دما به بالاتر از دمای ذوب کریستالی PTFE برسد و یا پایین تر از دمای تبلور مجدد PTFE برسد. اگر تفاوت دمایی بین ماندل ۱۰ و محیط اطراف آن خیلی زیاد شود، ریدوم شکسته خواهد شد. این در حالی است که مطابق با مباحث فوق مرحله سینترینگ ۲۲ یک روش ترجیحی است که در آن لایه ۱۲ هنوز در بالای ماندل قرار دارد و این امکان وجود دارد که لایه ۱۲ از ماندل ۱۰ از ابتدا جدا شود. این جداسازی از دو طریق امکان پذیر

است: ۱- ماشین کاری لایه ۱۲ از سطح ماندل ۲- ماندل ۱۰ را بدون زیربرش ۱۴ مهیا کنیم تا این امکان را فراهم آورد که لایه ۱۲ به راحتی جدا شود. دما و زمان سینترینگ برای هردو یکسان خواهد بود با این استثنا که زمانی که لایه ۱۲ بدون ماندل ۱۰ در یک مکان حرارت دهی می شود، بایستی دمای ماندل و محیط اطراف آن در یک دامنه اختلاف دمایی بسیار کم کاسته شوند.

با اتمام سینترکردن مرحله ۲۲ لایه ۱۲ با ماشینکاری برداشته می شود تا شکل ریدوم در ابعاد و اندازه های مطلوب حاصل شود. اگر لایه ۱۲ در بالای ماندل ۱۰ در طول عملیات سینترکردن ۲۲ باقی بماند، ممکن است بعد از آن ماندل ۱۰ به عنوان یک فیکسچر حمایت کننده برای هم مرکز بودن محیط بیرونی لایه ۱۲ نهایی به کارگرفته شود. ریدوم نهایی با برداشت لایه ۱۲ از ماندل ۱۰ بدست می آید. این عمل با ماشین کاری به منظور جداسازی مواد اطراف زیربرش ۱۴ محقق می شود. هم محیط داخلی و هم محیط خارجی لایه ۱۲ بایستی ماشین کاری شود البته زمانی که از ماندل ۱۰ قبل از انجام عملیات سینترکردن ۲۲ جدا شده باشد.

مشخص شده است که زمانی که لایه ۱۲ در بالای ماندل ۱۰ در طول مرحله سینترینگ ۲۲ باقی میماند، درصد نهایی الیافی که جهتگیری مطلوبی دارند بهبود می یابد. در نتیجه لایه ۱۲ به زیربرش ۱۴ متصل و محکم خواهد شد. معمولاً در پروسه حرارت دادن تحت خزش و چروک خوردن قرار بگیرد. با بسته شدن به زیربرش ۱۴، لایه ۱۲ بایستی زمانی که کشیده میشود، چروک بخورد تا همسازی خود را با ماندل ۱۰ حفظ کند. این امر باعث فشرده شده هرچه بیشتر لایه ۱۲ در جهت عمود بر محور ماندل ۱۰ می شود. مطابق با بحث فوق بایستی کاملاً واضح باشد که مرحله مرجع باقیماندن لایه ۱۲ بالای ماندل ۱۰ در طول سیکل سینتر کردن ۲۲ میزان نیاز به ماشین کاری را کاهش می دهد و محصول نهایی ریدوم را بهبود می بخشد.

حالا با رجوع به شکل ۳ ریدوم نهایی در شماره ۲۶ قابل دیدن می باشد. کاملاً واضح است که ریدوم ۲۶ می تواند در هر شکل دلخواه دیگری با به کارگیری ماندل مناسب تهیه شود. در بعضی از کاربردها لازم است تا یک رشته حمایت کننده در ریدوم نهایی ۲۶ متصل شود. این امر استحکام فوق العاده ای در کشش در راستای طول ریدوم فراهم می آورد. شکل ۶ یک رشته حمایت کننده ۸۲ را در ریدوم ۲۶ نشان می دهد. رشته حمایت کننده ۸۲ از یک ساختار فیلامان اپوکسی-الیاف شیشه ای یا ساختارهای لانه زنبوری پلی آمید-الیاف شیشه ای تشکیل می شود. به منظور داشتن اتصال و پیوند مناسب بین ریدوم ۲۶ و رشته ۸۲، سطح داخلی ریدوم ۲۶ با محلول سدیم مانند تترا-اچ تهیه شده از شرکت W.I. Gorge مورد عمل قرار می گیرد. این امر سطح داخلی ریدوم را برای استفاده با یک چسب پلی آمید؛ زمانی که پیوند ساختار لانه زنبوری است یا با یک چسب اپوکسی؛ زمانی که پیوند از نوع اتصال اپوکسی است، مهیا می سازد. پیوند رشته ۸۲ در داخل ریدوم ۲۶ توسط رویه حرارت دهی کیسه خلا معمولی انجام می شود. در ضمن این امکان نیز وجود دارد که رشته ۸۲ در داخل ریدوم ۲۶ با بستن رشته ۸۲ خلاف دماغه ریدوم ۲۶، سپس پوشش سطح خارجی ریدوم با شروع از دماغه به کمک یک نوارچسب پارچه ای، اتصال صورت گیرد. این عمل ریدوم ۲۶ را برخلاف رشته ۸۲ فشرده می کند (ترات و کینینگلی، ۱۹۸۷).

نتیجه گیری

روشهایی که در بالا برای تولید اشکال پیچیده ریدوم، مواد پلیمری تقویت شده با الیاف، ذکر شد شامل مراحل زیر است:

۱-۱ تشکیل مخلوطی از مواد پلیمری به شکل پودر و الیاف تقویت کننده

۲-۱ قالبگیری سرد مخلوط به منظور شکل دهی یک شمش کامپوزیتی از جنس پلیمر-الیاف که در آن عمده الیاف در جهتی مطلوب، جهتگیری کرده اند.

۳-۱ ماشین کاری سگمنت های اولیه با اشکال پیچیده از شمش ها، سگمنت ها طوری شکل میگیرند که به صورت صفحه ای، سطوح آنها همسایه و مجاور باشد.

۴-۱ چیدن سگمنت ها در درون قالب و

۵-۱ حرارت دادن قالب همزمان با به کارگیری نیرو به سگمنت به منظور سینتر کردن کامپوزیت پلیمری و اثر پیوند بین سگمنت های مجاور.

۶-۱ مراحل ماشین کاری شامل برش هر یک از سگمنت ها به منظور داشتن سطح اولیه که مطابق با بخش دیواره محفظه قالب است و برش سطوح هر یک از سگمنت ها که مجاور با یکدیگر هستند به طوری که این سطوح مجاور معمولاً عمود بر دیواره محفظه قالب هستند جاییکه سطح اولین سگمنت می باشد.

۱-۲ تهیه مخلوط فشرده و یکنواخت از پودرهای PTFE و الیاف تقویت کننده در اطراف ماندل

۲-۲ متراکم کردن مخلوط پودری تحت یک فشار خارجی مناسب در مدت زمان معین

۳-۲ افزایش دما به قدر کافی جهت ذوب یا سینتر کردن PTFE

۴-۲ خنک شدن محصول تا دمای محیط

۵-۲ ماشین کاری سطح و رسیدن به ابعاد نهایی ریدوم

مراجع

Bassett H. L. (1973). "Analysis & Evaluation of Radome Materials & Configurations for Advanced RF Seekers". U.S. Arlzy Missile Command. Redstone Arsenal. Alabama.

Cary R. H. (1974). "Avionic radome materials". Advisory Group for Aerospace Research and Development. Paris, France.

Harris J. N. (1978). "Proceedings of the 14th Symposium on Electromagnetic Windows". Georgia Institute of Technology. Atlanta. GA.

Kozakoff D. J. (2010). "Analysis of Radome-Enclosed Antennas". Boston|London. Artech House. Second Edition.

Mangels j. & Mikijelj B. (2010). "Ceramic Radomes for Tactical Missile Systems". Ceradyne Thermo Materials & Ceradyne, Inc.

Traut G. R. & Killingly S. (1982). "Method of manufacturing a Radome". United State Patent. Patent Number:4364884.

Traut G. R. & Killingly S. (1985). "Radome Structure". United State Patent. Patent Number:4659598.

Walton J. D. (1970). "Radome Engineering Handbook". New York: Marcel Dekker.

Walton J. D. (1972). "Reaction Sintered Silicon Nitride". Proceedings of the 11th Symposium on Electromagnetics Windows. Georgia Institute of Technology. Atlanta. GA.

Wright J. M., . Meyers J. F, & Ritchie E. E. (1992). "Advanced Ceramic Composites for Hypersonic Radome Applications". Proceedings of the 20th Symposium on Electromagnetic Windows. Georgia Institute of Technology. Atlanta. GA.