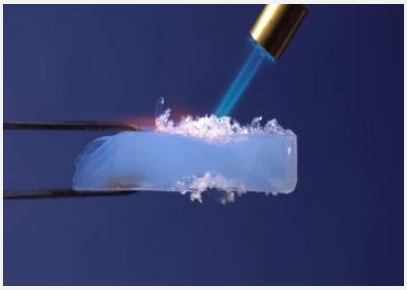

شنبه 15 فروردین 1405 - 06:30

معجزه هواژل‌ها در مهندسی فضاهای خالی!

هواژل‌ها که تا ۹۹.۸ درصد از هوا تشکیل شده‌اند، کمترین چگالی را در میان مواد جامد دارند که کاربردهای فراوانی نظیر عایق‌بندی با کارایی بالا در سیستم‌های هوافضا، انرژی و صنعتی را امکان‌پذیر می‌سازند.

هواژل ها که تا ۹۹.۸ درصد از هوا تشکیل شده اند، کمترین چگالی را در میان مواد جامد دارند که کاربردهای فراوانی نظیر عایق بندی با کارایی بالا در سیستم های هوافضا، انرژی و صنعتی را امکان پذیر می سازند.

به گزارش ایسنا، هواژل ها(Aerogels) دسته ای پیشرفته از مواد هستند که تا ۹۹.۸ درصد از هوا تشکیل شده اند. آنها از سبک ترین مواد جامد روی زمین هستند و هواژل های مبتنی بر سیلیس برخی از بهترین نمونه ها را نشان می دهند. به شکل ویژه، هواژل های گرافنی می توانند به چگالی هایی تا ۰.۱۶ کیلوگرم بر متر مکعب برسند که حدود ۷.۵ برابر سبک تر از هواست.

هواژل یک ماده تولیدی است که کمترین چگالی را در میان مواد جامد دارد. این ماده از یک ژل به دست می آید که در آن قسمت مایع ژل با گاز جایگزین می شود. نتیجه این فرآیند، ماده ای جامد با چگالی بسیار کم و در عین حال، ویژگی قابل توجه در زمینه عایق گرمایی است.

هواژل در فرهنگ عامه مردم تحت نام های دیگری همچون دود منجمد، دود جامد، هوای جامد یا دود آبی نیز شناخته می شود که این نام گذاری ها به دلیل ظاهر شفاف و نیز نحوه پخش نور در این ماده است.

هواژل برای نخستین بار توسط «ساموئل استفان کیستلر» در سال ۱۹۳۱ ساخته شد و تولید آن بر اساس یک شرط بندی برای جایگزین کردن قسمت مایع ژله خوراکی با گاز بود، بدون آن که ساختار ژله در هم بشکند.

فرآیند تولید هواژل شامل استخراج بخش مایع ژل با استفاده از روش خشکاندن فوق بحرانی می باشد. با استفاده از این روش، مایع به آهستگی از درون شبکه جامد ژل خارج می شود بدون آنکه به این شبکه آسیبی برسد و در اثر نیروی مویینگی در هم بشکند. مثلاً ژله خوراکی در اثر تبخیر معمولی دچار درهم شکستگی ساختار شبکه جامد می شود.

نخستین نمونه های هواژل از ژل اکسید سیلیسیم ساخته شدند و هواژل سیلیسی نامیده شدند. بعدها، کیستلر هواژل هایی با پایه اکسید آلومینیم، کروم و قلع ساخت. هواژل های کربنی نیز در اواخر دهه ۸۰ میلادی ساخته شدند.

هواژل، سبک ترین ماده جامد شناخته شده در جهان است که چگالی سبک ترین نمونه ساخته شده از آن، تنها سه برابر هواست. ویژگی های منحصربه فرد این ماده، آن را یکی از پرکاربردترین مواد به کار رفته در مأموریت های فضایی ساخته است. به عنوان نمونه، مسئولان ناسا از هواژل به منظور جلوگیری از یخ زدگی ربات مریخ نورد در شب های سرد سیاره مریخ استفاده کردند. همچنین این ماده برای گردآوری ذرات کیهانی در فضا بسیار مناسب است و در جریان مأموریت «استارداست» از آن برای جمع آوری مواد موجود در هاله پیرامون دنباله دار «وایلد-۲» استفاده شد.

هواژل ها که اغلب «دود یخ زده» یا «ابرهای جامد» نامیده می شوند، این لقب ها را مدیون ظاهر نیمه شفاف و چگالی بسیار کم خود هستند. با وجود این، آنها از نظر مکانیکی نسبت به وزن خود مقاوم و بسیار متخلخل هستند و برخی از انواع آنها قادر به جذب روغن تا ۹۰۰ برابر وزن خود هستند.

همانطور که گفته شد، هواژل ها اختراع جدیدی نیستند. آنها اولین بار در سال ۱۹۳۱ توسط ساموئل کیستلر، دانشمند و مهندس شیمی آمریکایی در کالج پاسیفیک کالیفرنیا، پس از نشان دادن اینکه می توان مایع را بدون فروپاشی چارچوب جامد ژل از آن خارج کرد، ساخته شدند.

از آن زمان، هواژل ها در ماموریت های فضایی، ساخت و ساز، سیستم های انرژی و همچنین عایق های صنعتی کاربرد پیدا کرده اند.

هواژل ها به طور پیوسته در حال شکل دادن به طرز فکر مهندسان در مورد مواد سبک و با کارایی بالا هستند.

نحوه ساخت هواژل ها

هواژل ها از ژل هایی ساخته می شوند که در آنها جزء مایع با گاز جایگزین می شود. فرآیند تولید با یک پیش ساز ژل آغاز می شود که تحت هیدرولیز و تراکم قرار می گیرد، واکنش هایی که هسته زایی مولکولی را آغاز کرده و ذرات کلوئیدی ریز تشکیل می دهند.

این سوسپانسیون ها که سل(sol) نامیده می شوند، با پیوند ذرات به واکنش ادامه می دهند. هنگامی که تراکم بین ذرات رخ می دهد، نانوذرات پراکنده در یک ژل نیمه جامد قفل می شوند. هنگامی که سیستم به نقطه ژل می رسد، ساختار به یک ژل مرطوب جامد تبدیل می شود که مایع در منافذ آن به دام می افتد.

در این مرحله، ماده می تواند شکل خود را حفظ کند، اما منافذ آن کاملاً با مایع پر شده اند. اندازه و اتصال این منافذ، معمولاً در حدود چند تا ده ها نانومتر، در این مرحله تعریف می شوند که می توان آنها را از طریق شرایط پردازش دقیقاً کنترل کرد.

اگر ژل در آب تشکیل شود، به آن «هیدروژل» می گویند. از آنجایی که آب را نمی توان بدون فروپاشی ساختار منافذ به طور ایمن حذف کرد، ابتدا باید با یک حلال آلی مبادله شود.

همچنین اگر ژل مستقیماً در یک حلال مبتنی بر الکل تشکیل شود، به عنوان یک «الکلوژل» شناخته می شود و می تواند مستقیماً به خشک شدن ادامه دهد.

آخرین و مهم ترین مرحله، خشک کردن فوق بحرانی(SCD) است. حلال درون ژل به بالاتر از دما و فشار بحرانی خود آورده می شود. دیگر مانند یک مایع یا گاز مجزا رفتار نمی کند. در این شرایط فوق بحرانی، کشش سطحی به طور مؤثر از بین می رود. این امر به حلال اجازه می دهد بدون کشیدن شبکه جامد شکننده، حذف شود.

پس از کاهش فشار بالاتر از دمای بحرانی، حلال به صورت گاز از ساختار خارج می شود. این فرآیند منجر به تولید هواژل می شود، یک جامد فوق سبک که عمدتاً از هوا ساخته شده و شبکه منافذ نانومقیاس آن دست نخورده باقی مانده است.

انواع هواژل ها

هواژل ها را می توان به چندین روش طبقه بندی کرد. از نظر ظاهری، آنها به صورت مونولیت، پودر و غشاء طبقه بندی می شوند.

بر اساس ریزساختار می توانند ریزمتخلخل (با قطر کمتر از دو نانومتر)، مزومتخلخل (با قطر بین دو تا ۵۰ نانومتر) یا هواژل های با تخلخل مختلط باشند.
با این حال، در عمل، هواژل ها اغلب بر اساس ترکیب موادشان طبقه بندی می شوند. هواژل ها بر اساس ساختار شیمیایی شان، معمولاً به سه دسته کلی هواژل های معدنی، آلی و کامپوزیتی تقسیم می شوند.
هواژل های معدنی شامل هواژل های سیلیس پرکاربرد و همچنین هواژل های اکسید فلزی و کالکوژنیدی هستند. آنها معمولاً از پیش سازهای معدنی مانند آلکوکسیدهای فلزی یا نمک های فلزی تولید می شوند.
در همین حال، هواژل های آلی از پیش سازهای مبتنی بر کربن یا پلیمر ساخته می شوند و شامل هواژل های کربنی، شبکه های نانولوله کربنی، هواژل های گرافنی و هواژل های پلیمری تشکیل شده از رزین هایی مانند فنل-فرمالدئید هستند.
در مقابل، هواژل های کامپوزیتی، سیستم های مواد متعددی را ترکیب می کنند و منجر به ساختارهایی مانند هواژل های اکسید مخلوط، هیبریدهای چارچوب آلی فلزی هواژل (MOF)، هواژل های مبتنی بر MXene و سایر موادی می شوند که با ادغام اجزای معدنی و آلی ایجاد می شوند.

چرا هواژل ها عایق های استثنایی هستند؟

هواژل ها به طور گسترده به عنوان بهترین عایق های حرارتی جامد جهان در نظر گرفته می شوند. دلیل این امر این است که ساختار داخلی آنها هر سه مکانیسم اساسی انتقال حرارت شامل رسانایی، همرفت و تابش را سرکوب می کند.
منافذ نانومقیاس هواژل ها از میانگین مسیر آزاد مولکول های هوا کوچکتر هستند. آنها با محدود کردن برخورد بین مولکول ها، رسانایی حرارتی فاز گاز را تا حد زیادی محدود می کنند. اندازه بسیار کوچک منافذ همچنین از حرکت گاز به صورت فله ای جلوگیری می کند. بنابراین، به طور مؤثری انتقال حرارت همرفتی را در داخل ماده از بین می برد.
رسانایی گرما از طریق فاز جامد نیز حداقل است، زیرا ستون فقرات جامد یک هواژل فوق العاده نازک و ناپیوسته است. این امر فونون ها، ارتعاشات جمعی کوانتیزه شده اتم ها در یک شبکه کریستالی سفت و سخت که به عنوان شبه ذرات عمل می کنند را مجبور می کند تا از مسیری بسیار پر پیچ و خم عبور کنند.
در نتیجه، هواژل ها به برخی از پایین ترین مقادیر رسانایی حرارتی هر ماده جامد (12-15 میلی وات بر متر مکعب کلوین) می رسند که چندین برابر کمتر از مواد عایق معمولی است.
ماهیت آبگریز آنها همچنین آنها را در برابر رطوبت مقاوم می کند. این به آنها اجازه می دهد تا عملکرد عایق را در شرایط سخت یا شدید حفظ کنند.

کاربردهای هواژل ها

هواژل ها مهم هستند، زیرا آنها یک روش کاملاً جدید برای مهندسی فضای خالی را نشان می دهند.
مهندسان با کنترل ساختار در مقیاس نانومتر، می توانند گرما، حرکت و جریان انرژی را به روش هایی که مواد کلاسیک هرگز نمی توانستند، سرکوب کنند.
به همین دلیل است که هواژل ها در بسیاری از صنایع استفاده می شوند. در ساختمان ها، پنل های هواژل فوق العاده نازک، عایق با کارایی بالا را در جایی که فضا محدود است، فراهم می کنند که شامل مقاوم سازی های تاریخی نیز می شود.
در همین حال، آنها در خطوط لوله نفت و گاز، پایداری حرارتی را در دماها و فشارهای شدید حفظ می کنند و به لطف ساختار ریز متخلخل سه بعدی خود، همچنین توانایی فوق العاده ای در جذب مستقیم CO_2 از خود نشان می دهند.
علاوه بر این، ناسا از هواژل ها برای کاربردهای برودتی مانند وسایل نقلیه پرتابی، کاربردهای شاتل فضایی، تجهیزات پشتیبانی از حیات و غرفه های آزمایش موتور موشک استفاده کرده است. آنها همچنین برای جذب گرد و غبار کیهانی با سرعت بالا مورد استفاده قرار گرفته اند.
اخیراً هواژل ها وارد وسایل نقلیه الکتریکی (EV) و ذخیره سازی انرژی نیز شده اند؛ جایی که به مدیریت گرمای باتری و کاهش خطر آتش سوزی بدون افزایش وزن کمک می کنند.

معایب و تحقیقات مداوم

با وجود خواص استثنایی هواژل ها، آنها بدون محدودیت نیستند. به عنوان مثال، هواژل های سیلیسی، شکننده هستند و می توانند تحت فشار مکانیکی بشکنند. این امر کاربردهای ساختاری آنها را محدود می کند.
در عین حال، تولید آنها ارزان نیست. آنها اغلب می توانند 10 تا 100 برابر بیشتر از مواد عایق سنتی مانند فوم یا فایبرگلاس هزینه داشته باشند، زیرا خشک کردن فوق بحرانی به انرژی بالا و تجهیزات تخصصی نیاز دارد.
همزمان، برخی از هواژل ها به رطوبت حساس هستند، مگر اینکه سطح آنها اصلاح شده باشد که می تواند به خواص عایق حرارتی آنها آسیب برساند و عملکرد آنها را به مرور زمان کاهش دهد.
با این حال، محققان چینی در مؤسسه علوم فیزیکی هفی(Hefei) اخیراً با افزودن مقادیر کمی زیرکونیا(ZrO_2) به الیاف سیلیس، عملکرد هواژل را افزایش داده اند. آنها همچنین هواژل های سدیم آلژینات زیست توده را توسعه داده اند که می توانند بیش از ۲۶۰۰ برابر وزن خود را تحمل کنند.
در همین حال، دانشمندان آزمایشگاه ملی لارنس لیورمور(Lawrence Livermore) با استفاده از نوشتن مستقیم با جوهر، ریزشبکه های هواژل گرافن چاپ سه بعدی ایجاد کردند. این ساختار به طور قابل توجهی مساحت سطح، رسانایی الکتریکی، انتقال جرم و عملکرد مکانیکی را بهبود می بخشد.
با قوی تر، ارزان تر و آسان تر شدن تولید هواژل ها، استفاده از آنها در دنیای واقعی همچنان در حال گسترش است و کاربردهای نوظهوری در منسوجات پوشیدنی، جمع آوری آب، دستگاه های انتقال حرارت پیشرفته، ماهیچه های مصنوعی و ذخیره سازی داده ها دارند.